BOLETINES TÉCNICOS #1-4

¿EN QUÉ CONSISTE UNA DEFENSA DE ALTA CALIDAD?

COMPOSICIÓN. MEZCLADO. FABRICACIÓN Y CURADO. TESTEO.



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Índice.

1 COMPOSICIÓN. UN CAMINO SINUOSO

Boletines técnicos de SFT 04

Boletines técnicos de SFT – #1 05

A. Compuestos de caucho: el diablo está en los detalles 06

B. El negro de carbón: necesario, en su justa medida 07

C. Carbonato cálcico: mejor que su reputación 09

D. El compuesto adecuado: un camino sinuoso 10

Grupo ShibataFenderTeam 12

2 MEZCLADO. UNA OPERACIÓN PASO A PASO

Boletines técnicos de SFT 14

Boletines técnicos de SFT – #2 15

A. Ingredientes de composición: decisiones fundamentales 17

B. Masticación de caucho: preparación básica 18

C. Equipo de mezclado: trabajo en equipo eficaz de la máquina 19

D. Laminado: cómo lograr un material uniforme 21

E. Concentrados de color: todo sobre los aditivos 22

F. Acabado: una pizca de azufre 23

Conclusión 24

Grupo ShibataFenderTeam 25

3 FABRICACIÓN Y CURADO. PERFECCIÓN AVANZADA

Boletines técnicos de SFT 27

Boletines técnicos de SFT – #3 28

A. Presión, temperatura y tiempo 28

B. Fabricación: donde surge la magia 30

Métodos de fabricación 31

C. Curado: la metamorfosis del caucho. 32

Métodos de curado 33

Conclusión 35

Grupo ShibataFenderTeam 35

4 TESTEO. UN ENFOQUE BASADO EN BUENAS PRÁCTICAS

Boletines técnicos de SFT 38

Boletines técnicos de SFT – #4 38

A. Resumen de los diferentes métodos de ensayo 39

Ensayos fundamentales 39

Ensayos de durabilidad 39

Ensayos de aprobación de tipo 40

Ensayos de verificación 40

B. Ensayos de verificación: detalles 41

Ensayos de material 41

Trazabilidad 42

Ensayos de rendimiento 43

Verificación de las dimensiones 46

Comprobación visual 46

Guía de buenas prácticas de SFT: preguntas frecuentes 46

C. Información adicional: defensas de espuma, defensas neumáticas y escudos de acero 47

Conclusión 49

Grupo ShibataFenderTeam 49

BOLETÍN TÉCNICO #1

COMPOSICIÓN.

UN CAMINO SINUOSO



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Índice.

Boletines técnicos de SFT 04

Boletines técnicos de SFT – #1 05

A. Compuestos de caucho: el diablo está en los detalles 06

B. El negro de carbón: necesario, en su justa medida 07

C. Carbonato cálcico: mejor que su reputación 09

D. El compuesto adecuado: un camino sinuoso 10

Grupo ShibataFenderTeam 12

Resumen y comentarios.

En el primer número de los Boletines Técnicos de SFT sobre la fabricación de defensas, se describen los aspectos relevantes para determinar qué es lo que hace que una defensa sea buena. Se centra en las materias primas utilizadas en la producción de caucho, las propiedades físicas de una defensa y su correlación con la composición del compuesto.

Existen normas y directrices internacionales que ofrecen una orientación sobre las propiedades físicas de las defensas de caucho, tales como PIANC2002 y ASTM D2000. Sin embargo, no existe ninguna norma internacional que especifique la composición química del compuesto de caucho utilizado en la fabricación de defensas de caucho.

En el presente boletín se destaca que, en la fabricación de defensas, las propiedades físicas son el único indicador fiable de la calidad de un compuesto de caucho que está definido por las normas internacionales. Además, se recomienda que las proporciones de aditivos y agentes de refuerzo como el negro de carbón (CB), carbonato cálcico (CC) y la sílice deben determinarlas especialistas con profundos conocimientos sobre el material, ya que la cantidad y el tamaño de las partículas influyen en gran medida en el compuesto, así como en su rendimiento y durabilidad. Además, el documento destaca el hecho de que los compuestos de caucho mezclados correctamente con CC por fabricantes experimentados, cumplen y superan las normas internacionales de testeo.

Boletines técnicos de SFT.

Seguridad, fiabilidad, durabilidad: los requisitos de rendimiento de una defensa se reducen a estos tres aspectos, y con razón. **Las defensas están pensadas para crear un entorno seguro para las embarcaciones y los pasajeros, mientras se protege las infraestructuras portuarias y a todo el personal que trabaja en ellas, de forma fiable durante la vida útil del diseño e incluso más tarde.** Este es el ideal que persiguen los puertos y los operadores portuarios.

En esta línea, las cuatro partes de la Serie de Boletines Técnicos SFT tienen como objetivo ofrecer una visión imparcial sobre cómo conseguir que una defensa sea buena, desde los materiales de origen hasta el proceso de fabricación.

El boletín n.º I aborda esta cuestión al examinar más de cerca los componentes constitutivos de una defensa y su papel a la hora de determinar las propiedades físicas relevantes para el rendimiento. Los boletines n.º II y III describen los procesos de mezclado y curado necesarios para producir una defensa de caucho de alta calidad. El boletín n.º IV pone fin a la serie con un informe detallado sobre el testeo.



Boletines Técnicos SFT:
#1 Composición | #2 Mezclado | #3 Curado | #4 Testeo

Boletines técnicos de SFT – #1.

Dado que un compuesto de caucho reforzado es el núcleo de cualquier defensa, el primer boletín técnico de SFT sobre la fabricación de defensas se centra en las materias primas utilizadas en la producción del caucho, las propiedades físicas de una defensa y su correlación con la composición del compuesto. Su objetivo es detallar los aspectos relevantes para determinar lo que hace que una defensa sea buena.

Sin embargo, por muy sencillo que parezca, al examinar las características del producto que se requieren para un rendimiento tan alto, las aguas tienden a volverse algo turbias. Existen normas y directrices internacionales, como PIANC2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) o BS6349 (2014), que garantizan que las defensas funcionen como se han diseñado cuando se instalan en un muelle.
Estas normas ofrecen una orientación en cuanto a las



Defensas cónicas SPC | IJmuiden | Holanda

propiedades físicas de las defensas de caucho, entre otras, la deformación permanente por compresión, la elongación a la rotura y la resistencia a la tracción. **Sin embargo, no existe ninguna norma internacional que especifique la composición química del compuesto de caucho utilizado en la fabricación de defensas de caucho.**

En otras palabras, hay normas industriales que definen un objetivo claro en la fabricación de defensas marinas, su rendimiento, propiedades físicas y durabilidad, pero no hay recomendaciones en cuanto a cómo lograrlo. La razón es simple: no hay dos proyectos de defensas ni dos fabricantes de defensas iguales. Cada proyecto tiene sus propios requisitos que precisan composiciones de caucho personalizadas. Además, no todos los polímeros utilizados en la producción de defensas están disponibles por igual en todas las partes del mundo, lo que obliga a los fabricantes a ajustar sus compuestos de caucho en atención a ello.

Todo esto proporciona un gran espacio para la diferenciación en el mercado y oportunidades para que los fabricantes de defensas presenten sus propios enfoques de mejores prácticas para producir productos de alto rendimiento. Sin embargo, también se ha convertido en el caldo de cultivo para algunas ideas erróneas ampliamente aceptadas, y defendidas activamente por algunos interesados, sobre la producción de compuestos, la más prevalente de las cuales afirma que la calidad de una defensa está determinada principalmente por la composición química de su componente de caucho.

En el Grupo ShibataFenderTeam (SFT), creemos que la calidad de una defensa debe medirse por su rendimiento, es decir, por el grado en que una defensa cumple con los requisitos de su campo de aplicación específico.

El presente Boletín Técnico se ha redactado a partir de la experiencia del Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e.V. (DIK), un instituto de investigación independiente alemán especializado en materiales poliméricos y tecnología del caucho, así como de la experiencia de funcionarios de la ASTM, y de conversaciones previas con especialistas en compuestos poliméricos de la Universidad de Gdansk, Polonia.

A. Compuestos de caucho: el diablo está en los detalles.

Por regla general, las defensas de caucho se fabrican con una mezcla de polímeros, por ejemplo, caucho natural (NR) y caucho sintético (SR), con aditivos como negro de carbón (CB), carbonato cálcico (CC) y otros aditivos, para aportar refuerzo y procesabilidad. **Aunque existe un consenso general en la industria sobre la mayoría de los componentes utilizados en la producción de defensas, las opiniones sobre la calidad de los ingredientes y su proporción difieren mucho de un fabricante a otro y algunos intentan establecer puntos de vista generalizadores sobre la composición química de los compuestos de caucho como un auténtico indicador de calidad para el producto acabado.** Un concepto erróneo común sostiene que la cantidad de los componentes correspondientes en el compuesto de caucho determina su calidad. Por lo tanto, a continuación examinaremos más de cerca los componentes que constituyen un compuesto de caucho y sus correlaciones.



Materia prima de caucho

El caucho natural (NR) se obtiene en forma de látex del árbol del caucho (Hevea brasiliensis) en un área delimitada aproximadamente 15° al norte y al sur del Ecuador, en la que el principal productor mundial es el sudeste asiático. Aproximadamente, el 40 % del consumo mundial de caucho se basa en el caucho natural, que se negocia como materia prima en los mercados bursátiles. La limitación geográfica de la disponibilidad del caucho natural y su escasez a principios del siglo XX llevaron al desarrollo del caucho sintético en otras partes del mundo. El caucho estireno-butadieno (SBR), el caucho monómero etileno-propileno-dieno (EPDM) o el neopreno son muy conocidos y se utilizan con frecuencia. De todos los cauchos sintéticos, el SBR es el que se utiliza con más frecuencia en las defensas.

El SBR es un copolímero de estireno y butadieno que puede polimerizarse en cualquier proporción. Proviene de subproductos del petróleo y depende del precio del crudo y del caucho natural. Aproximadamente, el 60 % del consumo mundial de caucho procede de cauchos sintéticos.

Los compuestos que solo contienen caucho natural o SBR difieren en sus características, así como en su impacto en la procesabilidad del compuesto, el rendimiento de la defensa y sus propiedades físicas.

Caucho natural (compuestos 100 % de caucho natural)

+ bien reforzados por naturaleza
+ gran relación de elasticidad (elongación)
+ elevada resiliencia
+ extremadamente impermeable

– malas propiedades de envejecimiento
– escasa resistencia al aceite
– susceptible de reversión (por lo tanto, sensible a la vulcanización)
– sensible al agrietamiento por ozono
– como producto natural y debido al proceso de abastecimiento natural, contiene impurezas como proteínas, cenizas,* suciedad (hojas, polvo)

* Roberts, A. D. (1990). Natural rubber science and technology. Oxford: Oxford University Press

Caucho sintético (compuestos 100 % de SBR)

+ buena resistencia a la abrasión
+ buena estabilidad al envejecimiento

– resistencia a la tracción intrínsecamente escasa
– escasa resistencia al envejecimiento por calor
– más difícil de procesar

En comparación, mientras que el SBR en su estado puro es menos pegajoso y tiene una mayor densidad y temperatura de transición vítrea que el caucho natural, también presenta un menor módulo y menor resistencia al desgarro y necesita un refuerzo adicional y una mayor cantidad de ablandadores.

El caucho natural, por el contrario, está bien reforzado desde el principio.

Por lo tanto, los compuestos de caucho con caucho natural o SBR como único polímero tienen grandes limitaciones y, por lo tanto, la industria normalmente utiliza mezclas de caucho natural y SBR para aprovechar las ventajas de ambos. Si en las especificaciones se establecen compuestos 100 % de caucho natural o SBR, los prescriptores deben asegurarse de que están familiarizados con las limitaciones de estos materiales, ya que un enfoque incorrecto podría poner en peligro un muelle y podría dar lugar a reclamaciones por responsabilidad sustanciales para el prescriptor.

La elección y la cantidad de caucho natural o SBR en la mezcla determina la cantidad de otros componentes que deben añadirse para mejorar las propiedades del compuesto, siendo los más conocidos el negro de carbón (CB) y el carbonato cálcico (CC). La proporción en la que los polímeros se mezclan con estos componentes define la composición química del compuesto de caucho. Detallar la relación proporcional entre todos los componentes del compuesto tiene un valor informativo limitado con respecto a la calidad de una defensa. **Dos compuestos de caucho pueden diferir en sus composiciones químicas y seguir teniendo propiedades físicas que cumplen o superan los requisitos de las normas internacionales (véase también la Tabla 2).** Sin embargo, para algunas partes interesadas se ha convertido en un lugar común el afirmar que la presencia y la proporción de los componentes correspondientes en el compuesto constituyen un indicador de calidad. Un análisis más detallado de las cargas de CB y CC muestra que tales afirmaciones generalizadoras son engañosas.

B. Negro de carbón: necesario, en su justa medida .

El negro de carbón (CB) es un reforzante consolidado para compuestos de caucho y está disponible con diferentes tamaños de partículas. Sus capacidades dependen no solo de su proporción en el compuesto de caucho, sino también de su calidad y del tamaño de las partículas. Su efecto puede

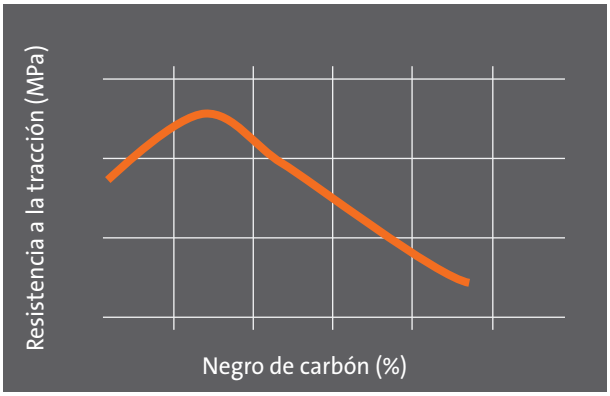


Figura 1: Influencia típica del CB en la resistencia a la tracción en compuestos de caucho natural

medirse mejor al examinar cómo evoluciona, por ejemplo, la resistencia a la tracción al aumentar gradualmente la cantidad de CB. En la figura 1 se muestra cómo aumenta la resistencia a la tracción del compuesto al añadir CB hasta un punto de rotura. Después de alcanzar ese estadio crítico, la resistencia a la tracción disminuye, ya que no queda caucho suficiente para dispersar las partículas de CB, lo que significa que el compuesto está sobrecargado con CB.

Este ejemplo apoya el hecho de que la cantidad de CB es realmente importante, pero con moderación y dependiendo del caucho utilizado, ya que el caucho natural necesita menos reforzante que el SBR. En otras palabras, al evaluar la proporción de CB, más no siempre equivale a mejor. Por lo tanto, para garantizar la calidad deseada del compuesto, la concentración de CB debe elegirse cuidadosamente en una fase temprana del proceso de producción, teniendo en cuenta todos los factores relevantes.

Por otra parte, las defensas grises no contienen nada de CB. Como las defensas grises: neumáticas, extruidas y de



Defensa neumática gris | Karlskrona | Suecia

barcos remolcadores, entran en contacto directo con la embarcación, los usuarios finales exigen que no dejen marcas. Dado que añadir CB daría lugar, de forma inevitable, a un compuesto de caucho negro, se emplea, en su lugar, sílice como reforzante. Y, sin embargo, cumplen con las mismas normas de testeo rigurosas que las defensas negras de alta durabilidad diseñadas para lograr una vida útil de más de 20 años. **Esto demuestra una vez más que la calidad de una defensa no puede determinarse a partir de la cantidad de CB existente en el compuesto de caucho.**

El tamaño de las partículas de CB es otro factor de gran influencia en la producción de defensas y fuente de debates en la investigación. **Se ha comprobado que cuanto mayor es el tamaño medio de las partículas de CB, menor es el módulo del compuesto de caucho, hecho que ha sido avalado por un gran número de estudios y pruebas.** Un módulo bajo significa que se requiere poca fuerza para estirar (alargar) una muestra, lo que es indicativo de un compuesto de baja calidad. Las pruebas realizadas por Shibata Industrial en Japón demuestran cómo cambia el módulo tanto en compuestos de solo caucho natural como de solo SBR con una dosis constante de CB dependiendo del tamaño de partícula de la carga. Al comparar los efectos del uso de CB con un tamaño promedio de partícula que iba de 22 nm a 78 nm, el módulo del compuesto se redujo significativamente a medida que las partículas se hacían más grandes. A lo largo de todo el rango de medición, el módulo se redujo en aproximadamente un 30 % con compuestos 100 % de caucho natural y casi un 50 % con compuestos 100 % de SBR (ver Figura 2), una diferencia que prueba de forma indirecta un hecho que se discutió anteriormente: que el caucho natural requiere menos refuerzo adicional.

CALIDADES DEL CB	ISAF N220	HAF N330	FEF N550	GPF N660	SRF-LM
Tamaño medio de las partículas (nm)	22	28	45	66	78
Módulo a 300 % de caucho natural (MPa)	16.1	15.5	15.7	13.3	10.8
Módulo a 300% de SBR (MPa)	10.3	9.7	8.8	6	5.4

Tabla 1: Módulo vs. calidad de CB

En resumen, la calidad de los compuestos no puede medirse por su cantidad de CB. Por lo tanto, por este motivo las composiciones no pueden excluirse de las especificaciones. La proporción de componentes del compuesto y el necesario tamaño de las partículas de CB están inevitablemente relacionados con el rendimiento y las propiedades físicas deseadas de la defensa. Un razonamiento similar se aplica al empleo de CC en compuestos de caucho.

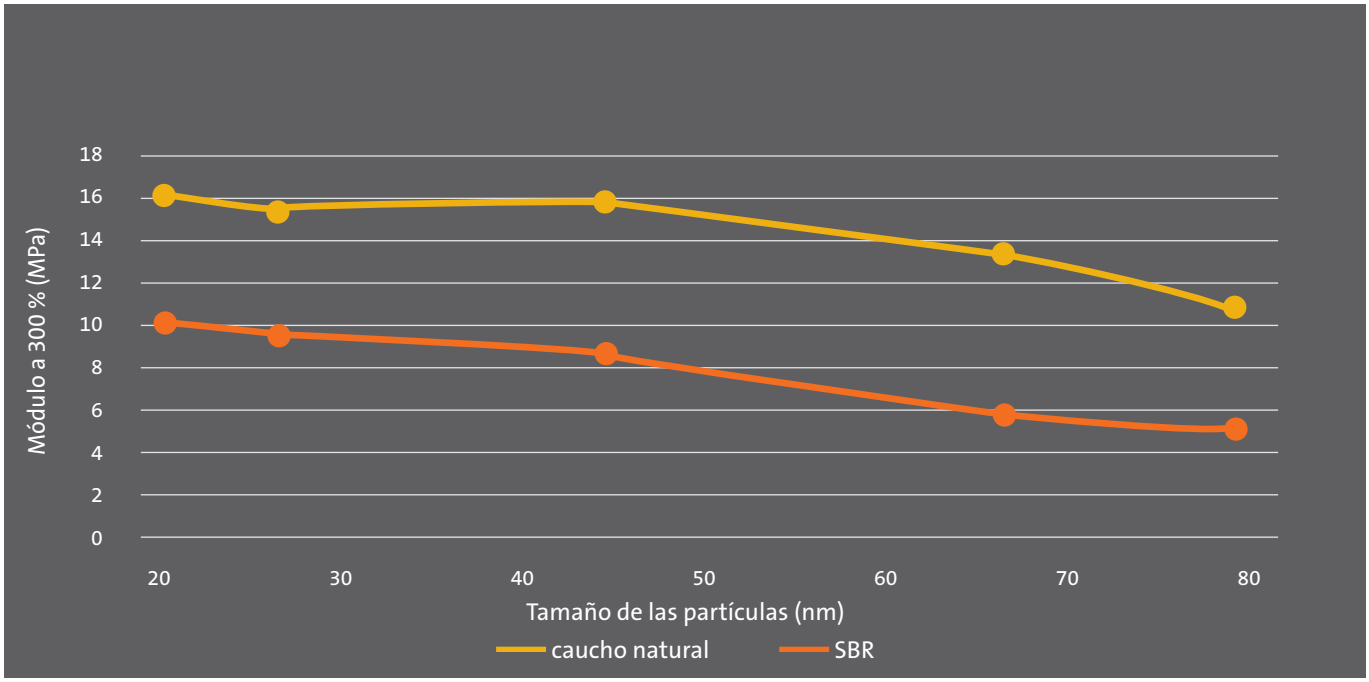


Figura 2: Módulo vs. tamaño de partícula de CB (CB 33 %)

C. Carbonato cálcico: mejor que su reputación.

Además del CB, los productos de caucho de alta calidad de la industria de las defensas emplean muchos otros aditivos, entre los cuales el carbonato cálcico (CC) es el más conocido. Existen dos tipos diferentes de CC: CC natural y CC sintético.

Ambos se presentan en forma de polvo, aunque el tamaño de las partículas puede variar. Añadir CC mejora la procesabilidad y el comportamiento durante la vulcanización y los resultados de la deformación permanente por compresión. Además, la cantidad adecuada de CC sintético en tamaños de partícula pequeños tiene un claro efecto reforzante.

A pesar de estos méritos, el CC tiene una reputación bastante mala en el mercado. Se dice que es un sustituto barato de los polímeros y que da lugar a peores propiedades físicas, así como a un menor rendimiento y durabilidad en los compuestos de caucho. En determinados casos, estas afirmaciones pueden ser correctas; sin embargo, no proporcionan la verdad completa sobre el CC.

Al igual que con el CB, el origen, la calidad, la dispersión y, sobre todo, el tamaño de las partículas y la pureza del CC determinan la forma en que el aditivo influye en las propiedades físicas y la durabilidad del compuesto de caucho. Por lo tanto, no se puede generalizar que el CC solo tiene efectos negativos. Si se usa correctamente, es útil para conferir a un compuesto propiedades físicas que cumplen o incluso superan las normas internacionales de testeo para defensas de caucho.

Los expertos de la ASTM y de otros institutos coinciden en que:

> *«Cuando se trata de compuestos de caucho para defensas marinas, no existe una norma en cuanto a la composición química, ya que la calidad de estas defensas está determinada por su capacidad para cumplir con los estrictos requisitos de rendimiento de su campo de operación. Por consiguiente, las propiedades físicas del compuesto deben considerarse como el único indicador significativo de la calidad del producto de una defensa de caucho.»*



Defensas Celda CSS | Yamal | Rusia

D. El compuesto correcto: un camino sinuoso.

Para resumir lo que hemos visto hasta ahora, la Tabla 2 muestra de forma gráfica que dos compuestos de caucho pueden tener composiciones químicas muy diferentes e incluso así poseer las propiedades físicas necesarias para cumplir con los criterios de rendimiento requeridos para defensas marinas, y así cumplir con las normas internacionales. Esto se debe fundamentalmente a los diferentes requisitos de refuerzo que presentan el caucho natural y el SBR. **La elección de la base de caucho del compuesto depende de la disponibilidad del polímero y de las características del producto requeridas por la defensa.** La misma lógica causal también se aplica a la elección y cantidad del resto de componentes con los que se mezcla el compuesto de caucho.

Por muy plausible que esto pueda parecer, se ha convertido en un fenómeno recurrente en la industria de las defensas el ocultar esta simple verdad a la vez que se difunde información engañosa. A este respecto, afirmar de forma errónea que la composición química de un componente de caucho es el principal criterio de calidad de la defensa supone alterar los hechos de forma peligrosa. **La composición química resulta importante en la producción de defensas, pero no es el único factor. Como se ha mostrado anteriormente, son las propiedades físicas las que determinan en última instancia la calidad de una defensa.**

Esta distorsión de los hechos resulta problemática cuando las partes interesadas invocan criterios subjetivos como indicadores de calidad de las defensas. Un buen ejemplo de esto tiene que ver con la densidad de los compuestos de caucho. La alta densidad se considera un síntoma de baja calidad, lo cual es una afirmación problemática cuando se acepta sin cuestionarla.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

PRUEBA DE TGA

	COMPUESTO 1		COMPUESTO 2	
Polímero [%]	47.5		46.9	
Negro de carbón [%]	37.5		27.5	
Residuos (cenizas) [%]	2.9		17.9	

PROPIEDADES FÍSICAS

PRUEBA DE PROPIEDADES FÍSICAS

PROPIEDADES	MÉTODO DE PRUEBA	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO COMPUESTO 1	OBSERVACIÓN	RESULTADO COMPUESTO 2	OBSERVACIÓN
Resistencia a la tracción [MPa]	ASTM D412 Troquel C - valor original antes del envejecimiento	≥ 16	20.20	✔	19.11	✔
Elongación a la rotura [%]	ASTM D412 Troquel C - valor original antes del envejecimiento	≥ 400	514.00	✔	586.08	✔
Resistencia al desgarro [kN/m]	ASTM D624 Troquel B	≥ 70	127.34	✔	104.42	✔
Deformación permanente por compresión [%]	ASTM D395 Método B, a 70°C durante 22 horas	≤ 30	19.31	✔	17.93	✔

Tabla 2: Comparación de compuestos en cuanto a composición química y propiedades físicas | Compuestos 1 y 2 tomados de defensas que han estado operativas con éxito durante años

Dado que los componentes como los aditivos y los agentes de vulcanización tienen una densidad más alta que el caucho, es probable que cualquier compuesto que necesite reforzante tenga una densidad más alta. Y, como vimos anteriormente, estos compuestos también cumplen con las normas internacionales. **Así que la densidad es solo un parámetro significativo cuando se considera en contexto.**

Un ejemplo más llamativo de este tipo de engaño es la práctica de evaluar la calidad de un compuesto de caucho sometiéndolo a un análisis termogravimétrico (TGA).

El TGA es un método de análisis térmico en el que una muestra, en este caso de una defensa de caucho, se pesa de forma continuada durante el calentamiento. Como los diferentes componentes se queman a diferentes temperaturas, la pérdida de peso constituye una indicación sobre la composición de la muestra. Algunas partes, sin embargo, no se queman, ni siquiera a temperaturas muy altas, a pesar de añadir oxígeno atmosférico. Otras se liberan en forma de CO_2 durante el proceso. Las partes que no se queman y que quedan al final se conocen como residuos (cenizas).
Aunque el TGA es útil como un medio práctico para verificar la composición química de un compuesto, no proporciona ninguna correlación significativa con la calidad del compuesto. No obstante, algunos consideran de forma errónea que un alto porcentaje de cenizas indica baja calidad, aunque existen razones perfectamente lógicas para los residuos. Como se mencionó anteriormente, el caucho natural como producto natural contiene ceniza, por lo que no es de extrañar que permanezcan cantidades mayores de ceniza después de quemar un compuesto de caucho a base de caucho natural. Otro residuo, el óxido de zinc, se suele añadir para el proceso de curado como un aditivo de vulcanización necesario. La sílice, que es el agente reforzante en las defensas grises (ver también p. 5), tampoco se quema y deja grandes cantidades de ceniza. Lo mismo se aplica al mencionado CC.

El uso de los resultados del TGA para desacreditar componentes que son típicos en la producción de caucho, esenciales incluso en la fabricación de defensas para cumplir con ciertos requisitos, debe considerarse no solo como una práctica engañosa, sino también como una práctica potencialmente peligrosa. Como se mencionó anteriormente, los resultados del TGA no permiten ninguna conclusión significativa en cuanto a la calidad de una defensa o su idoneidad para un proyecto. Por lo tanto, los resultados del TGA no aseguran que una defensa esté a la altura de lo que se espera en su campo de operación. **Y si una defensa de caucho no funciona como se requiere, no se puede garantizar la seguridad en las operaciones marítimas.**

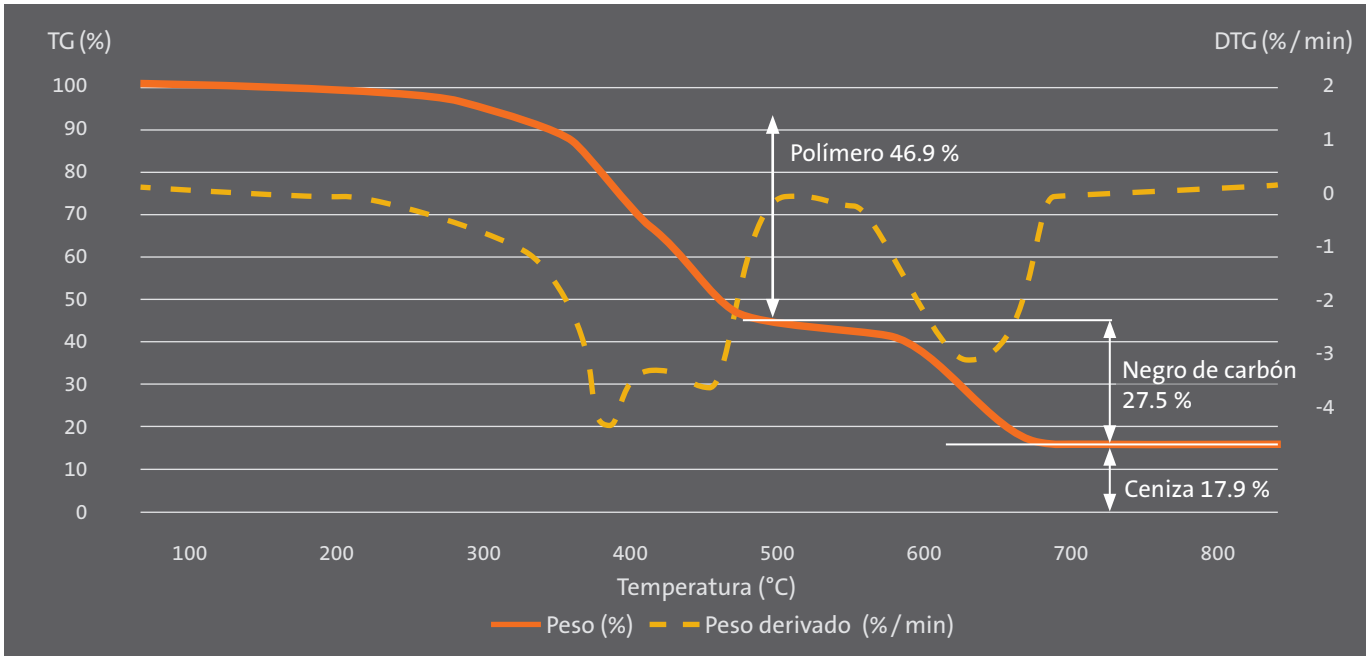


Figure 3: Thermogravimetric analysis (TGA) | Values based on Compound 2 (see Table 2)

Después de todo, las defensas son de vital importancia para proteger las estructuras portuarias y crear un entorno seguro para las embarcaciones y las tripulaciones. En este contexto, creemos que la respuesta a lo que constituye una buena defensa no solo tiene que reflejar un alto nivel de experiencia técnica, sino también dar prueba de un claro sentido de responsabilidad corporativa. **Desde el punto de vista técnico, una buena defensa es el resultado de una combinación de materias primas de alta calidad y un fabricante de defensas experto en la composición, lo que garantiza que el rendimiento del producto final cumpla, o supere, los requisitos del proyecto individual, así como las normas internacionales.** Desde una perspectiva ética, una buena defensa es la prueba física de una cultura corporativa que antepone los requisitos de rendimiento individuales del cliente en primer lugar a la hora de determinar la calidad del producto en vez de su propia necesidad de diferenciación en el mercado. En pocas palabras, la calidad de una defensa está determinada por su rendimiento en el campo, no por las afirmaciones de un fabricante de defensas.

Como fabricante de defensas con un amplio conocimiento y una experiencia sin precedentes en la producción de caucho, en el Grupo ShibataFenderTeam (SFT) creemos que la composición es una disciplina experta que no debe tomarse a la ligera y que es tan específica del proyecto que no puede generalizarse de ninguna manera. **Al fin y al cabo, una defensa marina necesita un compuesto de caucho individualizado que le confiera las propiedades físicas adecuadas para su campo de aplicación específico.** Con la Serie de Boletines Técnicos, SFT desea abogar por una mayor transparencia en la producción de defensas con el fin de garantizar unos estándares de calidad impulsados por un compromiso con los productos de alto rendimiento y un claro sentido de la responsabilidad.

Grupo ShibataFenderTeam.

El Grupo ShibataFenderTeam es uno de los principales fabricantes internacionales de defensas con más de 50 años de experiencia en la producción de defensas, más de 100 000 defensas en servicio y más de 90 años de experiencia en la producción de productos de caucho. Shibata Industrial, con sede en Japón, es responsable de la producción y la I+D, mientras que ShibataFenderTeam, con sede en Alemania, se ocupa del diseño y la venta. Sus oficinas regionales en los Estados Unidos, Europa y Asia cuentan con el apoyo de una amplia red de representantes locales bien establecidos en seis continentes.

Crear y proteger el valor es el objetivo esencial al que nuestros productos están destinados. Ofrecemos la gama completa de productos de defensas marinas, desde simples perfiles de caucho hasta sistemas de alta ingeniería, así como accesorios y fijaciones. La excelencia en ingeniería significa que nuestros socios pueden estar seguros de que pueden esperar lo mejor de nosotros en todas las áreas. Nuestra experiencia nos ha hecho ganar una reputación como un socio de confianza en el mercado internacional de puertos, muelles y vías navegables.

info@shibata-fender.team

www.shibata-fender.team

Referencias:

A menos que se indique lo contrario, todas las referencias al caucho y a los compuestos de caucho utilizadas en este boletín técnico se han extraído de:

- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie *(Introducción a la tecnología del caucho)*. Munich: Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie *(Guía de referencia para la tecnología del caucho)*. Ratingen: Gupta

Nota:

- **Las propiedades físicas son el único indicador fiable de la calidad de un compuesto de caucho, según definen las normas internacionales.**
- **Las proporciones de aditivos y agentes reforzantes como el CB, el CC y la sílice deben ser determinadas por especialistas con un profundo conocimiento de los materiales, ya que la cantidad y el tamaño de las partículas influyen en gran medida en el compuesto, su rendimiento y durabilidad.**
- **Los compuestos mezclados correctamente con CC por fabricantes experimentados cumplen y superan las normas internacionales de testeo; las defensas que emplean dichos compuestos tienen una alta durabilidad y alcanzan una vida útil normal de más de 20 años.**

BOLETÍN TÉCNICO #2

MEZCLADO.

UNA OPERACIÓN PASO A PASO



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Índice.

Boletines técnicos de SFT 14

Boletines técnicos de SFT – #2 15

A. Ingredientes de composición: decisiones fundamentales 17

B. Masticación de caucho: preparación básica 18

C. Equipo de mezclado: trabajo en equipo eficaz de la máquina 19

D. Laminado: cómo lograr un material uniforme 21

E. Concentrados de color: todo sobre los aditivos 22

F. Acabado: una pizca de azufre 23

Conclusión 24

Grupo ShibataFenderTeam 25

Resumen ejecutivo.

El segundo boletín técnico de SFT sobre la fabricación de defensas continúa la senda del primero con una descripción general del proceso de mezclado del compuesto de caucho. A partir de los resultados de la composición del caucho que se mostraban en el número anterior, el actual boletín se centra en los pasos de preparación y mezcla de las materias primas y en cómo afectan al rendimiento de una defensa de caucho.

La fabricación de defensas, al igual que otros sectores de fabricación de caucho, es generalmente conocida como una industria que se basa, sobre todo, en el conocimiento práctico y en la experiencia. La complejidad y el número infinito de posibles composiciones de caucho y técnicas de mezclado, así como los requisitos individuales para cada producto de caucho diferente, hacen que sea difícil determinar procedimientos universales.

En este documento se describen los pasos individuales del mezclado de caucho para poder hacerse una idea general de esta parte tan delicada de la fabricación de defensas. Al examinar la interacción compleja entre los materiales y su procesamiento, y al presentar los diversos dispositivos de mezclado disponibles, queda claro hasta qué punto la producción de defensas de alta calidad depende de la pericia del fabricante. La elección y el funcionamiento adecuado del equipo están sujetos a una larga experiencia en esta parte importante de la fabricación de caucho y sus efectos en la calidad final de la defensa.

Boletines técnicos de SFT.

Los sistemas de defensa marina son esenciales cuando se trata de proteger a personas, barcos e infraestructuras portuarias, además de facilitar operaciones de atraque seguras. La calidad de una defensa marina se mide exclusivamente por sus propiedades de rendimiento, que se reducen a tres aspectos: seguridad, fiabilidad y durabilidad.

Sin embargo, los requisitos para cada sistema de defensa son diferentes, por lo que el desarrollo de una defensa es un proceso único, desde el diseño e ingeniería de la solución personalizada y la elección de las materias primas, hasta los procedimientos de fabricación.

Las normas y pautas internacionales actuales como PIANC2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) o BS6349 (2014) se refieren únicamente a las propiedades físicas finales de una defensa marina. No indican las especificaciones de la composición química, como tampoco existen normas de la industria para el mezclado ni el equipo



Producto con aditivo de color incorporado, cortado y apilado para su acabado.

utilizado en el procedimiento. **En consecuencia, la calidad de una defensa y sus propiedades físicas son y seguirán siendo el objetivo definido de la fabricación de defensas.**

En los cuatro números de los boletines técnicos de SFT se analiza todo el proceso, desde la composición del caucho hasta las pruebas de la defensa de caucho acabada, con el fin de ofrecer una visión imparcial sobre cómo se consigue una defensa de alta calidad. Se dan ejemplos de cómo se pueden lograr las propiedades físicas relevantes para el rendimiento en cada paso de la producción.

El número I aborda la correlación que existe entre las materias primas y su composición, y las propiedades de la defensa final. En el número II se definen aspectos importantes del proceso de mezclado y de los correspondientes equipos. El número III describe el proceso de fabricación y curado y, con el número IV, se cierra la serie, con un informe detallado sobre el testeo.



Boletines técnicos de SFT:
N.º 1 Composición | N.º 2 Mezclado | N.º 3 Curado | N.º 4 Testeo

Con sus boletines técnicos, SFT desea abogar por una mayor transparencia en la producción de defensas, con el fin de garantizar estándares de calidad impulsados por el compromiso con productos de alto rendimiento y un claro sentido de la responsabilidad.

Boletines técnicos de SFT – #2.

Dado que el mezclado es un paso esencial en la producción de productos de caucho, este número de los boletines técnicos de SFT se centra en las fases individuales del proceso de mezclado y en cómo afectan al rendimiento de una defensa de caucho. El procesamiento del caucho requiere una incorporación y dispersión completas de los elementos que entran en la composición, tales como diferentes tipos de cauchos crudos, cargas y diversos productos químicos. **Resulta vital prestar atención a cómo se unen estos elementos y conforman una defensa de alta calidad.** La resistencia mecánica superior, la flexibilidad y la durabilidad son algunos de los requisitos que desempeñan un papel crucial en la vida de una defensa. **Existe una dependencia mutua entre todos los pasos de la fabricación de defensas, desde la elección de las materias primas y el equilibrio del diseño del compuesto, hasta la precisión del proceso de mezclado que configura el producto final predefinido.** El desarrollo de la receta de composición y el posterior proceso de mezclado son las partes más delicadas cuando se trata de la producción de defensas.

La amplia variedad de composiciones de compuestos de caucho requiere que el proceso de mezclado resuelva estas diferencias en términos de proceso y equipo. **Teniendo en cuenta que no hay dos proyectos de defensa iguales, resulta esencial tratar de forma individualizada la producción de cada pedido.**



Caucho natural en bruto

La complejidad de la interacción entre la composición y las propiedades del producto exige un conocimiento profundo y una pericia contrastada por parte del fabricante, que tradicionalmente evoluciona y madura a través de la experiencia a largo plazo en este campo.

La procesabilidad del caucho, la fiabilidad del proceso y la eficiencia económica son características que pueden lograrse de diferentes maneras. **Para obtener una distribución homogénea de los ingredientes de composición y una alta dispersión, el fabricante depende de un equipo de mezclado industrial de alto rendimiento.** El documento destacará en adelante el equipo apropiado para cada paso de producción y comentará algunos conceptos erróneos generalizados sobre los diferentes tipos de mezcladores utilizados comúnmente en la industria del caucho.

Este boletín técnico muestra el proceso de mezclado de caucho (que consiste en la masticación, la producción de concentrados de color y el acabado; véanse las figuras 1 y 2 para obtener una descripción general y los pasos detallados) y el equipo, tal como recomienda el Grupo ShibataFender-Team (SFT) con el fin de sentar un ejemplo para la industria.

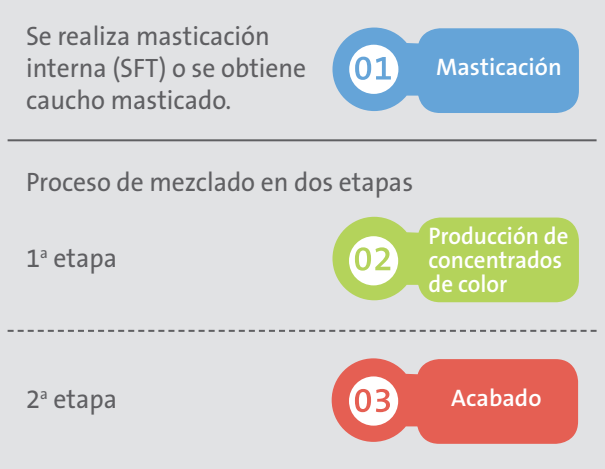


Figura 1: Proceso de mezclado – Descripción general

Nota:

El siguiente procedimiento ilustra un proceso de mezclado de dos etapas que de ninguna manera pretende ser la única vía para producir una buena defensa. Sin embargo, muestra la correlación de los distintos pasos del proceso de mezclado y los factores que habrán de tenerse en cuenta para la calidad final de una defensa. Es posible el mezclado en una sola etapa en mezcladores internos, así como el uso de un solo tipo de mezclador interno, aunque no constituye una solución ideal para todos los compuestos de caucho.

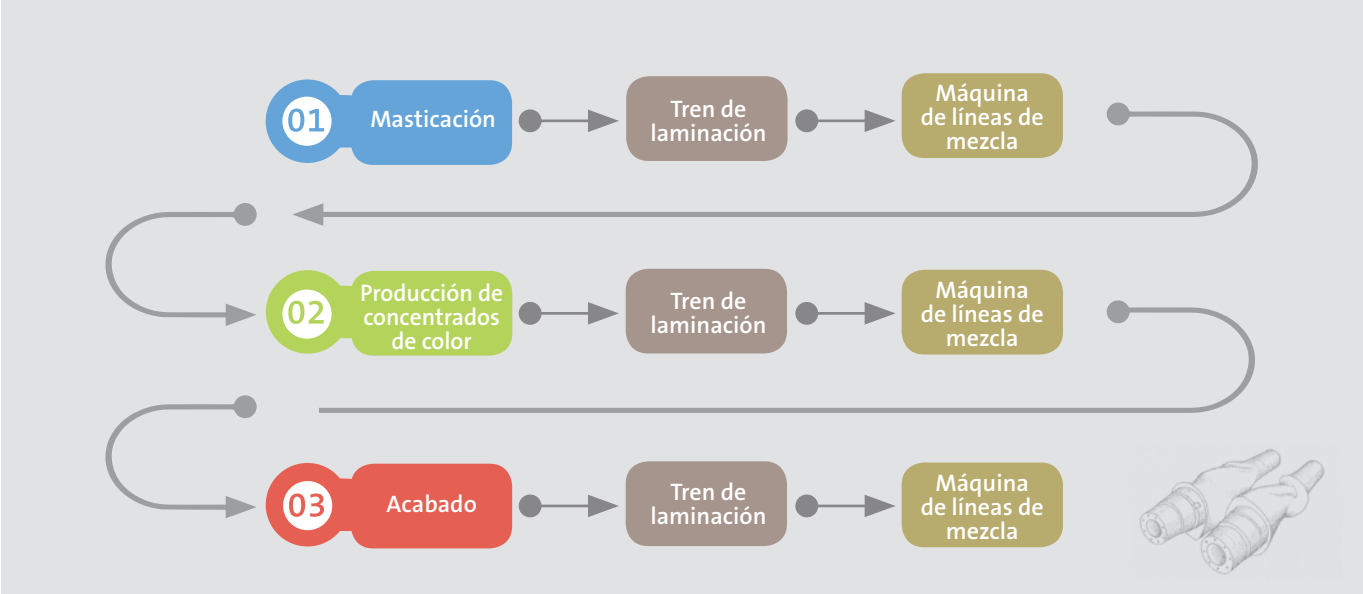


Figura 2: Proceso de mezclado – Pasos detallados

A. Ingredientes de composición: decisiones fundamentales.

Tal como se indicaba en el boletín nº I, una composición química bien ajustada del compuesto de caucho es la piedra angular para obtener una defensa de alta calidad y un comportamiento de mezclado favorable. Para evitar inconsistencias en las propiedades finales del producto, resulta muy importante la selección de caucho en bruto. El estado inicial del caucho natural (CN) como producto sin procesar puede presentar variaciones de viscosidad debido a la alteración del peso molecular y a una desigual distribución molecular. El caucho natural se obtiene en forma de látex de un árbol llamado Hevea brasiliensis. El alto consumo y la limitación geográfica de esta materia prima en el siglo XVIII llevaron al desarrollo del caucho sintético (CS). El caucho sintético más utilizado en compuestos de defensas es el caucho estireno-butadieno (CEB). Hoy en día, se ha convertido en norma mezclar caucho natural con sintético, ya que, debido a las propiedades complementarias de los diferentes tipos de caucho, se mejoran las propiedades físicas de la defensa, como la estabilidad ante el envejecimiento, la resistencia a la tracción y la procesabilidad. **Dependiendo de la composición de la mezcla de caucho, los otros ingredientes de composición deberán equilibrarse de manera muy precisa para obtener las características óptimas de la defensa de caucho final.** Los ingredientes adicionales para mejorar las propiedades físicas requeridas de la defensa, así como la procesabilidad del caucho, son negro de carbón (CB), carbonato de calcio (CC) natural y sintético, aceite de proceso, antioxidante y antiozonante para proteger el caucho contra el envejecimiento y el deterioro del ozono y azufre como agente vulcanizante. **La interacción química y la influencia recíproca entre los elementos individuales deben considerarse con precisión para cada composición de caucho.** Como se mencionó anteriormente, el número de fórmulas posibles es infinito y su composición es una cuestión de precisión del orden de gramos. En el número I de los boletines técnicos, se puede obtener información detallada sobre los ingredientes de composición individuales y la composición de caucho.



Caucho sintético (caucho estireno-butadieno)



Caucho natural masticado

B. Masticación de caucho: preparación básica.

El caucho natural en su forma original posee un alto peso molecular (que equivale a una alta viscosidad) y una estructura molecular desigual, una condición que complica la mezcla homogénea con caucho sintético, así como una dispersión uniforme con otros ingredientes. Por esta razón, se realiza la masticación mecánica (véase la figura 3) antes del proceso de mezclado real para obtener una superficie del material que sea receptiva a la dispersión de la mezcla de polímeros e ingredientes de composición. Durante el proceso de masticación mecánica, las fuerzas de cizallamiento de los rotores en un mezclador interno rompen la estructura molecular del caucho, acortan las cadenas moleculares largas y producen una alineación paralela de las moléculas. El resultado es un caucho de baja viscosidad con plasticidad y fluidez uniformes y, por lo tanto, pasa a ser una materia prima con propiedades de mezclado y procesabilidad ideales. **Los fabricantes de caucho pueden optar por adquirir caucho masticado o realizar una masticación interna (como se hace en SFT), lo que brinda oportunidades adicionales para la gestión de la calidad y la uniformidad entre lotes.** La masticación se realiza generalmente con mezcladores internos (para obtener más información sobre los mezcladores, véase la siguiente sección sobre equipos de mezclado). Cuando se utiliza un mezclador interno, el caucho natural entra en la cámara de mezclado a través de la puerta de la tolva en forma de bloque y se procesa mediante las dos paletas del rotor de acero pesado del mezclador. El caucho masticado se descarga y se deja caer directamente en un tren de laminación, donde se lamina para obtener una mayor procesabilidad (véase la figura 4). Todos los pasos desde la masticación hasta el acabado se supervisan y documentan con precisión.



Caucho masticado en tren de laminación

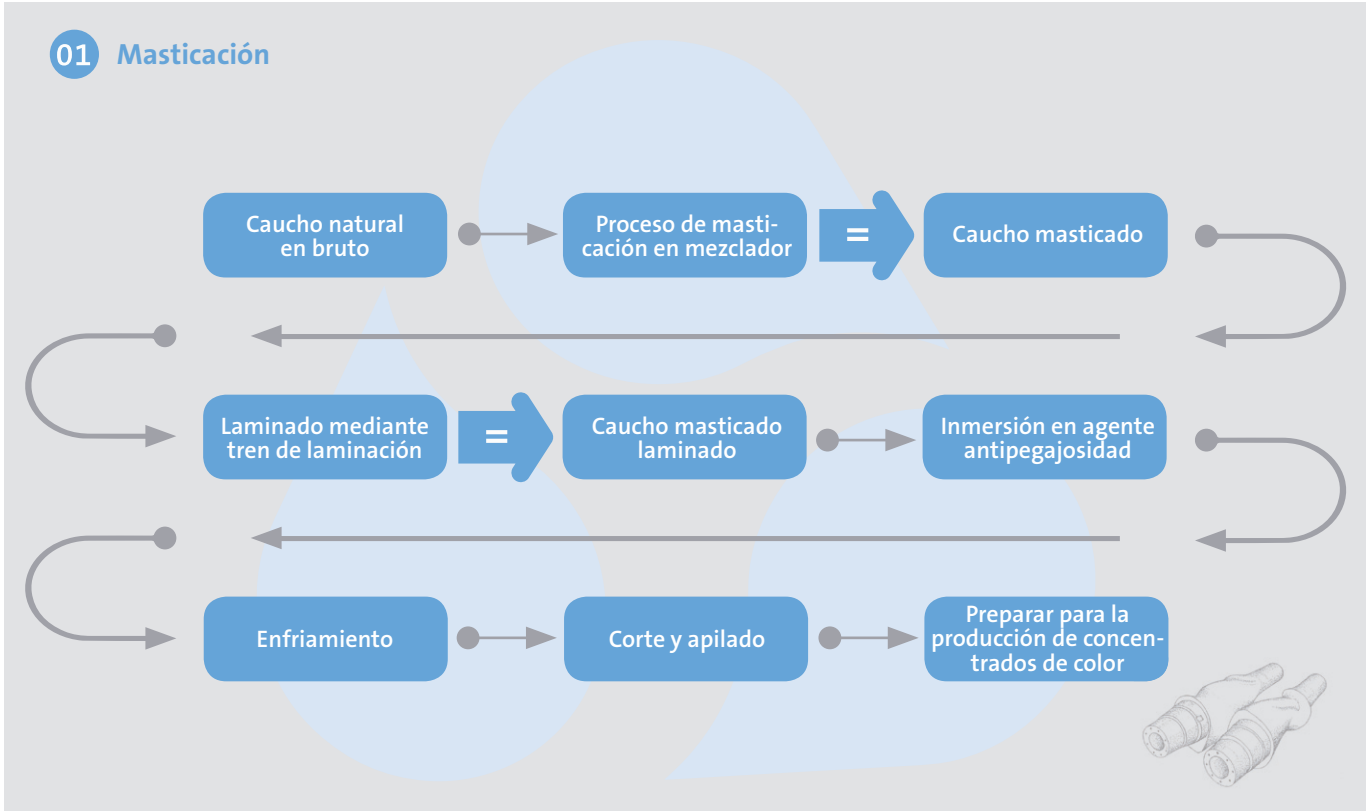
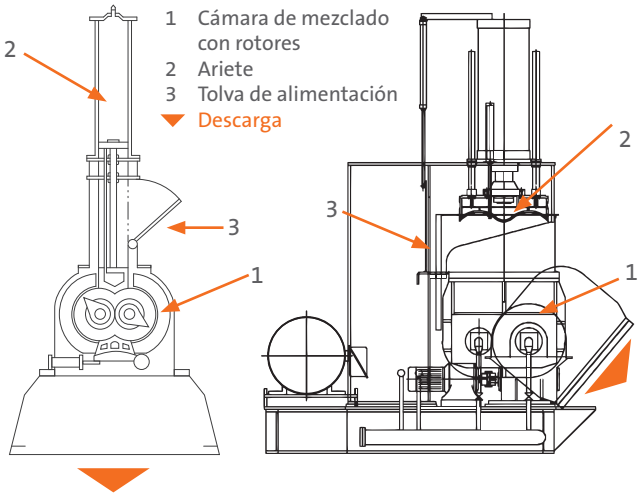


Figura 3: Masticación – Pasos detallados

C. Equipo de mezclado: trabajo en equipo eficaz de la máquina.

Los mezcladores más comunes en la fabricación de caucho son el Banbury y el Kneader, ambos mezcladores internos, y el tren de laminación. **La construcción de estos dos mezcladores internos es similar en lo que respecta a sus características mecánicas, mientras que cada máquina tiene sus preferencias para diferentes procedimientos, y se pueden utilizar de manera complementaria para optimizar el tiempo y la rentabilidad.** Ambos mezcladores consisten básicamente en pares de rotores de giro opuesto, una cámara de mezclado, un peso flotante (ariete) y una tolva de alimentación. Los dos mezcladores tienen diferentes mecanismos de salida de caucho: el caucho sale del Kneader directamente desde la cámara de mezclado, que se inclina hacia atrás para descargar el material. El Banbury tiene una puerta abatible, a través de la cual se deja caer el caucho en el tren de laminación.

Ambas máquinas están disponibles con diferentes tamaños de cámara. **Contrariamente a la creencia popular del sector, un mezclador grande no está directamente vinculado con un proceso más eficiente o una alta calidad del resultado final:** con polímeros térmicamente sensibles como CN y CEB, no se debe exceder de una cierta temperatura durante el proceso de mezclado. La ventaja clave de los mezcladores más pequeños es una relación más favorable entre el volumen de cámara y la superficie de enfriamiento. Los sistemas de mezclado más pequeños tienen una relación de enfriamiento de superficie superior en comparación con los sistemas más grandes: el volumen aumenta al cubo, mientras que la superficie de enfriamiento aumenta al cuadrado. En consecuencia, la temperatura de mezclado siempre será considerablemente más alta en un mezclador más grande. Además, en mezcladores más grandes, se tarda más tiempo en mezclar los lotes grandes, lo que puede dañar la estructura molecular del caucho y la calidad del compuesto final. La calidad disminuye con el tiempo de mezclado ampliado y finalmente afecta negativamente a las propiedades físicas del producto final. **De hecho, un mezclador más grande es económicamente beneficioso debido a sus mayores tasas de producción, pero, siguiendo el principio de la calidad como una prioridad, un mezclador de tamaño mediano debe ser la primera opción para anteponer la calidad a la cantidad.**



Dibujo de un mezclador Banbury Dibujo de un mezclador Kneader



Mezclador Banbury



Mezclador Kneader

A pesar de las similitudes de ambos mezcladores internos, cada máquina ofrece ciertos beneficios que la hacen más adecuada para una etapa de la producción que para otro (para una descripción detallada, véase la tabla 1). El Banbury es el mezclador indicado para la producción de concentrados de color con su motor de alto rendimiento, velocidad de rotor ajustable y sistema de pesaje automatizado. Se pueden lograr altos grados de dispersión y mezclado de caucho de alta viscosidad en un corto período de tiempo. Dado que el Banbury funciona a temperaturas más altas que el Kneader, no es la mejor solución para la masticación y el acabado, aunque es factible. La temperatura más alta del Banbury se compensa con un tiempo de mezclado más corto. Sin embargo, hay ciertas ventajas para favorecer al Kneader frente al Banbury. Son:

- Masticación: facilidad de carga de bloques de caucho crudo;
- Producción de concentrados de color: para producir compuestos coloreados, como compuestos grises, ya que la temperatura de mezclado debe ser relativamente baja;
- Acabado: mayor efecto de enfriamiento y facilidad de descarga de material desde la cámara de mezclado.

La selección del mezclador adecuado para el paso de producción respectivo y su funcionamiento correcto requiere mucha experiencia; el uso de ambos mezcladores puede ser una gran ventaja.

El tren de laminación consta de dos rodillos paralelos de giro opuesto con un espacio intermedio que se puede ajustar. El tren de laminación se puede utilizar para todos los pasos del proceso de mezclado. Para la producción de concentrados de color se añaden otros ingredientes de composición al caucho. Las fuerzas de cizallamiento extremadamente elevadas del tren de laminación a baja temperatura conducen a una mayor dispersabilidad de los ingredientes, pero, a diferencia de los mezcladores internos con sus cámaras selladas, el tren de laminación es un sistema mecánico abierto y las materias primas se esparcen.

Esto daría lugar a un entorno de producción polvoriento e inseguro, que es un argumento sólido para el uso de mezcladores internos. Además, un mayor tiempo de mezcla reduce la eficiencia del tren de laminación y, por lo tanto, se utiliza más comúnmente para el laminado, que se describirá en la siguiente sección.

PASO DE MEZCLADO	MEZCLADORES INTERNOS		TREN DE LAMINACIÓN
	BANBURY	KNEADER	TREN DE LAMINACIÓN DOBLE
Masticación 01	+ factible pero menos eficiente	+ llenado eficiente de bloques de caucho	+ fuerzas de cizallamiento superiores – productividad comparativamente baja
Producción de concentrados de color 02	+ adecuado para cauchos de alta viscosidad + velocidad del rotor ajustable + dispersión rápida + cámara sellada + pesaje automatizado + temperatura adecuada para la dispersión química	+ cámara sellada + adecuado para compuestos coloreados debido a la menor temperatura – menor productividad que el Banbury – no adecuado para cauchos de alta viscosidad	+ elevada fuerza cortante y dispersión muy exhaustiva – productividad comparativamente baja – dispersión de materias primas – requiere un trabajador calificado – entorno laboral peligroso
Acabado 03	+ factible pero menos eficiente	+ mayor efecto de enfriamiento + fácil descarga de material	+/– véase más arriba

Tabla 1: Equipos de mezclado de un vistazo

D. Laminado: cómo lograr un material uniforme.

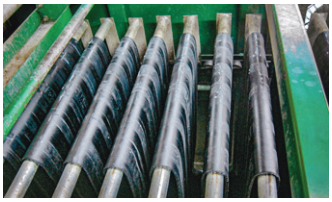
Después de cada operación de mezclado (masticación, producción de concentrados de color y acabado), el caucho se prepara para la siguiente etapa de producción, que consiste en ser laminado en un tren de laminación. **El caucho que se deja caer en el espacio entre los rodillos de molienda se mezcla una vez más con los rodillos de giro opuesto y las elevadas fuerzas de cizallamiento.** Luego, se envuelve el rodillo delantero con caucho y se transforma en una lámina mediante los dos rodillos de molienda. Junto al tren de laminación se coloca la máquina de líneas de mezcla. Realiza cuatro pasos principales con un cortador giratorio al final de la línea (véase la figura 4). Primero, las láminas de caucho se estampan con el código del compuesto (concentrado de color y compuesto acabado únicamente) y se sumergen en un recipiente lleno de un agente antipegajosidad diluido que evita que las láminas de caucho sin curar se peguen entre sí. Las láminas de caucho se transfieren luego a una cámara de enfriamiento que disminuye rápidamente su temperatura y también ayuda a secar el agente antipegajosidad. Finalmente, el caucho se transfiere al cortador giratorio donde las láminas se cortan con la longitud deseada. El caucho acabado permanece sin cortar y se pliega en una sola pieza, con el fin de mejorar la capacidad de procesamiento para el siguiente proceso de fabricación.

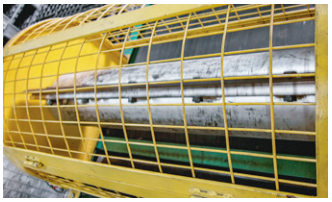


Concentrado de color en tren de laminación


Estampación


Antipegajosidad


Enfriamiento


Corte

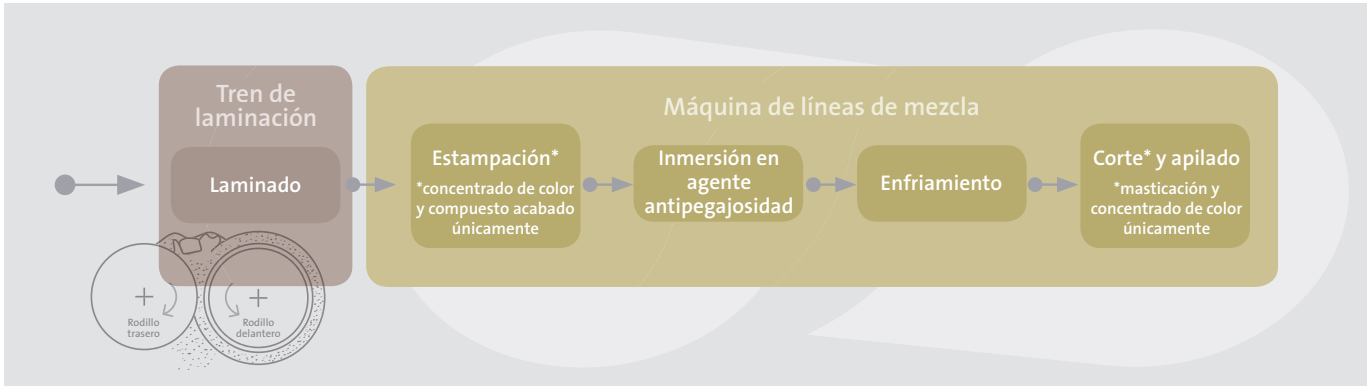


Figura 4: Proceso de mezclado – Tren de laminación y máquina de líneas de mezcla

E. Concentrados de color: todo sobre los aditivos.

El proceso de mezclado de dos etapas comienza con la producción del concentrado de color: un paso crucial en el proceso de mezclado, preferiblemente realizado en el Banbury (véase la figura 5). Aquí es donde se mezclan todos los ingredientes de composición, excepto el agente vulcanizante. **Se debe prestar especial atención a la secuencia de adición de ingredientes y a los tiempos de mezclado subsiguientes.** En un primer paso, el caucho natural (CN) masticado (NR) se mezcla con caucho sintético (caucho estireno-butadieno, CEB) para crear una mezcla de caucho uniforme. Debido a las propiedades del caucho natural obtenidas a través de la masticación, la mezcla de caucho se puede mezclar de manera óptima con todas las cargas y productos químicos necesarios para obtener las propiedades físicas deseadas. El negro de carbón y el aceite de proceso se añaden en un segundo paso y, después del tiempo de mezcla establecido, las cargas y los productos químicos se liberan en la cámara. Tras cada adición de un ingrediente, la puerta de la tolva se cierra nuevamente y el material queda presionado dentro de la cámara por el ariete, donde luego se mezcla con una atenta vigilancia de la evolución de la temperatura y las fuerzas de rotación.

Han de supervisarse con precisión varios parámetros en esta operación. Para empezar, el sistema de pesaje automatizado y el controlador del proceso de mezclado automático del Banbury evitan errores humanos con respecto a la composición química del compuesto y los ajustes de mezclado. **Si el mezclado es insuficiente en esta etapa, el negro de carbón no se dispersará homogéneamente, lo que afecta de modo negativo al compuesto final.** El mezclado se debe realizar a una temperatura relativamente alta para derretir los productos químicos y obtener una dispersión suficiente; sin embargo, a temperaturas demasiado altas, el caucho se vuelve demasiado blando y no se pueden generar fuerzas de cizallamiento suficientes, lo que posteriormente conduce a una dispersión de ingredientes más pobre. Además, el CN y CEB no tienen una alta resistencia a la temperatura, por lo que las temperaturas demasiado altas afectarán negativamente a las propiedades físicas del compuesto. **Este frágil equilibrio de temperatura requiere una supervisión precisa de la velocidad y del tiempo de mezcla.** Además, el Banbury está equipado con un sistema de enfriamiento extremadamente eficiente que ayuda a controlar la temperatura durante todo el procedimiento. Luego, el tren de laminación y la máquina de líneas de mezcla procesan nuevamente el concentrado de color y se almacenará durante un período de enfriamiento antes de continuar con el procesamiento.

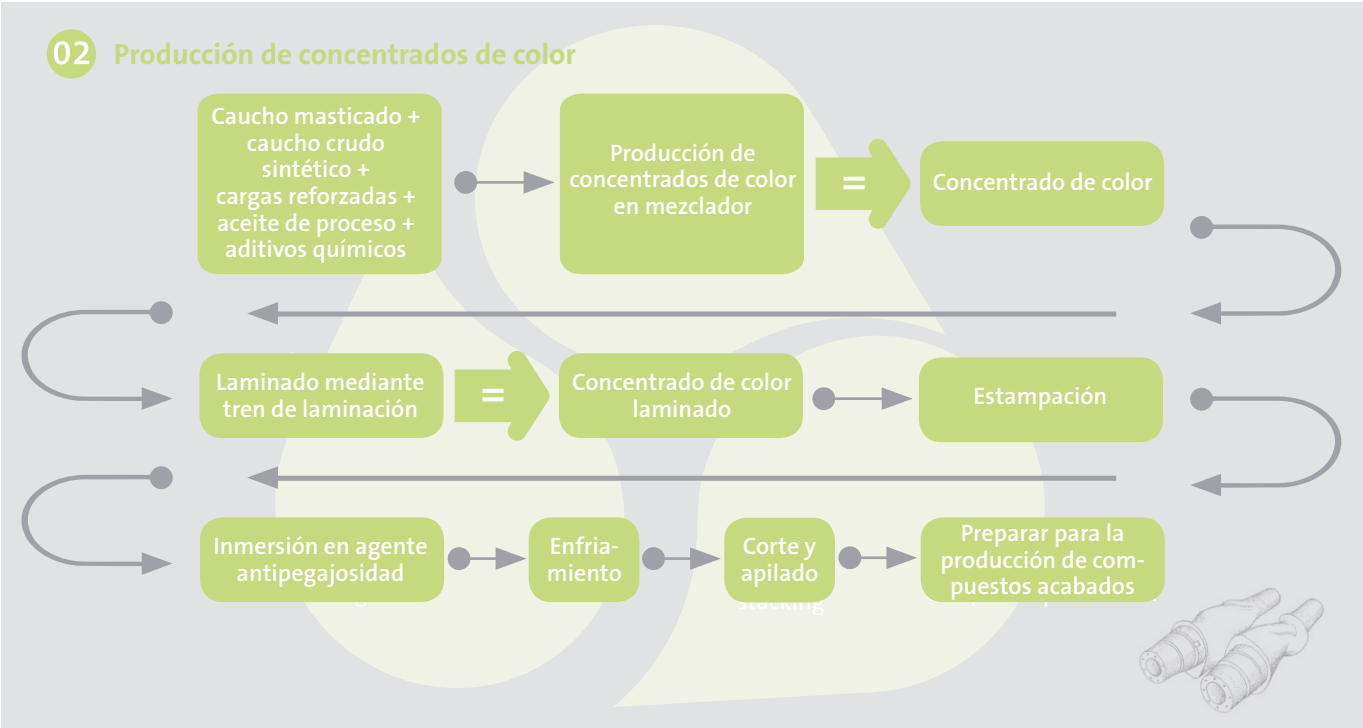


Figura 5: Producción de concentrados de color – Pasos detallados

F. Acabado: una pizca de azufre.

En la segunda etapa del proceso de mezclado, el acabado, el concentrado de color se mezcla con azufre como preparación para el proceso de fabricación y curado, que se abordará en el próximo número III de los boletines técnicos (véase la figura 6). El azufre es el agente vulcanizante más común en las defensas de caucho. Se usa en combinación con otros productos químicos que aceleran la vulcanización y evitan las quemaduras, como el óxido de zinc y el ácido esteárico, entre otros. **Si bien este paso es importante para la reticulación efectiva de las cadenas de polímeros del caucho (vulcanización), la adición y la mezcla completa de azufre aumentan la dureza final del caucho y las propiedades de elasticidad.** Después de añadir azufre, debe evitarse un aumento de temperatura con el fin de prevenir la vulcanización prematura. **El Kneader es el dispositivo de mezcla preferido para el acabado porque, a diferencia del Banbury, el Kneader no suele exceder la temperatura crítica de vulcanización.** El compuesto acabado se procesa en el tren de laminación y



Compuesto acabado en tren de laminación

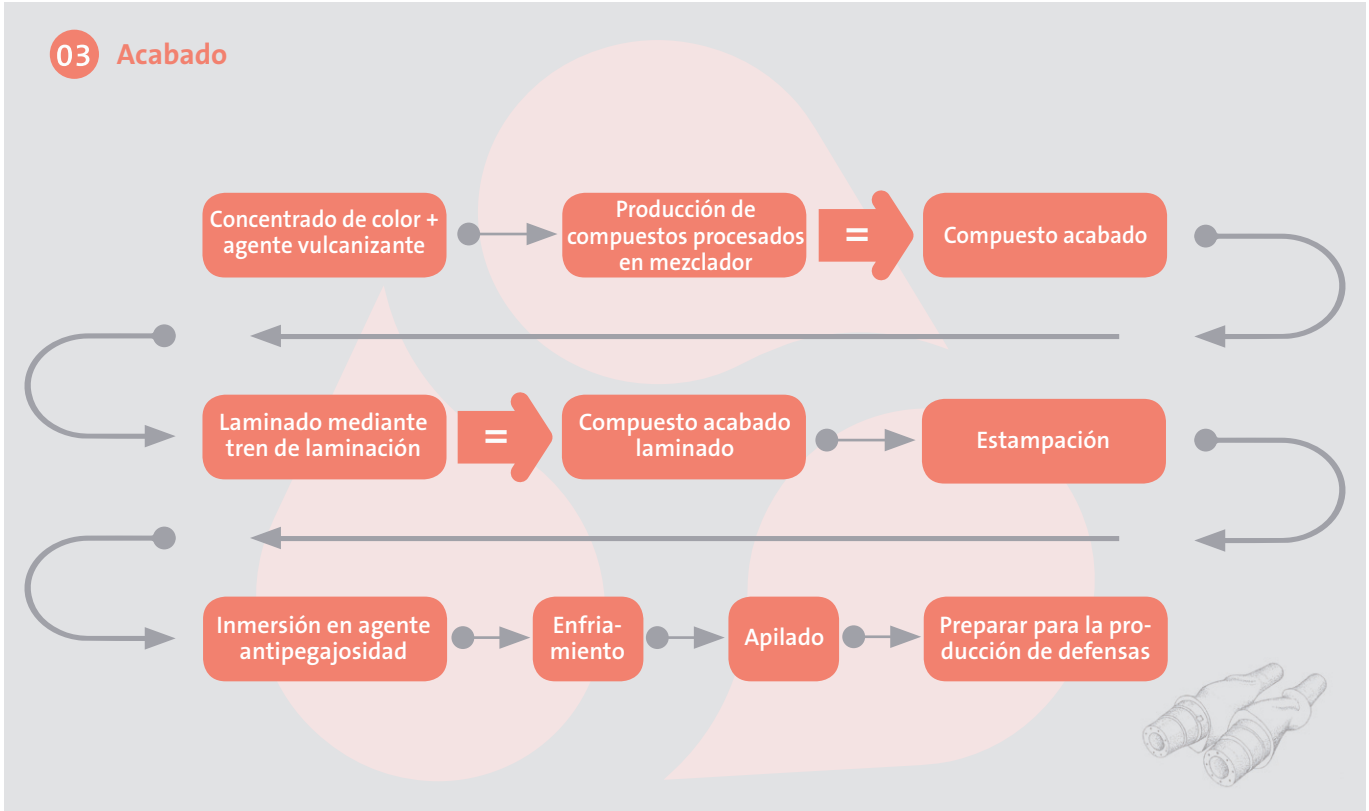


Figura 6: Acabado – Pasos detallados

en la máquina de líneas de mezcla y luego se almacena en una pieza doblada sin cortar, lo que facilita el proceso de fabricación adicional (número III de los boletines técnicos).

El siguiente paso de la producción, fabricación y curado de defensas se basa en la determinación exacta del tiempo de quemado, del tiempo de curado óptimo así como del par mínimo y máximo. **Estos parámetros pueden variar entre diferentes lotes de composición, por lo que realizar pruebas y determinar estos parámetros resulta de extrema importancia para garantizar una alta calidad de los productos de defensas.** Para este fin, se coloca una muestra del compuesto acabado en un curómetro que determina todos los datos relevantes con arreglo a un software especial para programar los parámetros de curado ideales relacionados particularmente con cada compuesto. De esta manera, se puede reevaluar la calidad constante de cada lote de composición.

La misma muestra de prueba se usa para probar las propiedades físicas del compuesto. Efectuar ambas pruebas en esta etapa de la producción de defensas permite evaluar la calidad de antemano.



Muestra de prueba para el curómetro



Caucho acabado plegado para el proceso de fabricación

Conclusión.

De lo que hemos visto hasta ahora en los números I y II de los boletines técnicos, se puede deducir que el proceso que va del diseño del compuesto para una defensa de caucho con las propiedades físicas deseadas hasta una mezcla que mantenga los estándares de calidad más elevados es arduo. Los compuestos de caucho para defensas de caucho deben tener una resistencia mecánica, flexibilidad y durabilidad superiores con una ventajosa relación coste-prestaciones. Nuestra misión en SFT es maximizar y aprovechar la resistencia de cada material combinando varios tipos de cauchos, cargas y productos químicos con un proceso de mezclado superior.

El ajuste de la composición para cada nuevo proyecto de defensas de acuerdo con sus requisitos se sigue de cerca en SFT, ya que las características de las composiciones de caucho afectan en gran medida al rendimiento y a la durabilidad de la defensa. Los compuestos de defensas de caucho de ninguna manera pueden generalizarse para todo el sector.

No estamos exagerando cuando decimos que equilibrar las materias primas es una necesidad para el diseño de compuestos y una parte integral de nuestra experiencia. **Existen infinitas combinaciones de composiciones de caucho y todas dependen del tipo y cantidad de cauchos crudos y agentes de composición utilizados en la formulación.** En SFT creemos firmemente que la experiencia en el campo del diseño, mezclado, producción y pruebas de compuestos resulta clave para la seguridad, fiabilidad y durabilidad de una defensa.

Sin embargo, cabe la posibilidad de que la mejor formulación del compuesto y las materias primas de la más alta calidad no den como resultado una defensa de caucho duradero si se utilizan técnicas de mezclado inapropiadas o se emplea el equipo incorrecto. **Tanto el Banbury como el Kneader son soluciones fiables y eficientes para mezclar compuestos de alta calidad e incluso puede ser beneficioso combinarlos.** El enfoque para lograr esta calidad podrá variar según las propiedades físicas requeridas del producto final, pero en la mayoría de los casos ha emergido a través de un largo histo-

rial de experiencia con los materiales y los correspondientes procesos. **En última instancia, la coherencia de un proceso de múltiples capas, como la mezcla de caucho personalizada, depende en gran medida del control operativo en cada etapa de producción, un concepto sólido de gestión de calidad y, una vez más, la experiencia del fabricante.**

Como fabricante de defensas con un amplio conocimiento y más de 90 años de experiencia en la producción de caucho, en SFT asumimos todo el proceso específico del proyecto, desde los cálculos y el diseño hasta la creación y producción de una defensa duradera y de alta calidad, comprometiéndonos totalmente con las normas y las directrices internacionales, y un claro sentido de responsabilidad.

Referencias:
A menos que se indique lo contrario, todas las referencias al caucho y al mezclado de caucho en este boletín técnico se extraen de:

- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie *(Introducción a la tecnología del caucho)*. Munich: Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie *(Guía de referencia para la tecnología del caucho)*. Ratingen: Gupta
- C. Hopmann, J.P. Dering, and A. Lipski (2015). Análisis de procesos para un procesamiento de caucho eficiente *(Gummi Fasern Kunststoffe, 68, No. 1, pp. 44-50)*. Ratingen: Gupta
- Nobuyuki, N. (2000). Science and Practice of Rubber Mixing (Ciencia y práctica del mezclado de caucho). Shawbury: Capra Technology Limited
- Nueva edición, Basic Rubber Technology (Tecnología básica del caucho), tercera impresión de la edición revisada (2010). La Sociedad de Ciencia y Tecnología del Caucho, Japón
- Boletín técnico de ShibataFenderTeam n.º 1: Composición

Nota:

- **Las propiedades físicas de una defensa de caucho no solo dependen de la calidad del compuesto de caucho. El manejo correcto del material en el proceso de mezclado y la elección del equipo son igualmente importantes.**
- **La selección del dispositivo de mezclado más adecuado para cada paso de producción de una gama de dispositivos disponibles y el profundo conocimiento del operador desempeñan un papel vital en la producción de una defensa que supere y cumpla los estándares internacionales de testeo.**
- **Las características del equipo de mezclado que son relevantes para la calidad final del compuesto incluyen la velocidad del rotor, la evolución de la temperatura y la relación entre la superficie de enfriamiento y el volumen de la cámara. Los mezcladores grandes pueden ser eficientes, aunque no necesariamente favorezcan la calidad del compuesto.**

Grupo ShibataFenderTeam.

El Grupo ShibataFenderTeam es un fabricante líder internacional de sistemas de defensa con más de 50 años de experiencia en la producción de defensas, más de 100.000 defensas en servicio y más de 90 años de experiencia en la elaboración de productos de caucho. Shibata Industrial, con sede en Japón, es responsable de la producción y la I+D, mientras que ShibataFenderTeam, con sede en Alemania, se ocupa del diseño y las ventas. Sus oficinas regionales en los Estados Unidos, Europa y Asia cuentan con el apoyo de una amplia red de representantes locales bien establecidos en seis continentes.

Crear y proteger el valor es el objetivo esencial al que nuestros productos están destinados. Ofrecemos la gama completa de productos de defensas marinas, desde simples perfiles de caucho hasta sistemas de alta ingeniería, así como accesorios y fijaciones. La excelencia en ingeniería significa que nuestros socios pueden estar seguros de que pueden esperar lo mejor en todas las áreas. Nuestra experiencia nos ha granjeado una reputación como socio de confianza en el mercado internacional de puertos, muelles y vías navegables.

info@shibata-fender.team
www.shibata-fender.team

BOLETÍN TÉCNICO #3

FABRICACIÓN Y CURADO.

PERFECCIÓN AVANZADA



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Índice.

Boletines técnicos de SFT 27

Boletines técnicos de SFT – #3 28

A. Presión, temperatura y tiempo 28

B. Fabricación: donde surge la magia 30

Métodos de fabricación 31

C.Curado: la metamorfosis del caucho 32

Métodos de curado 33

Conclusión 35

Grupo ShibataFenderTeam 35

Resumen ejecutivo.

El Grupo ShibataFenderTeam continúa con la publicación de sus cuatro Boletines Técnicos sobre la elaboración de defensas con una explicación detallada sobre los diversos procesos de fabricación y curado. En el boletín #3 se presentan dos de los pasos del proceso de producción de defensas que más influyen en la calidad.

Así como en los boletines técnicos #1 y #2 se establecían las complejas interdependencias entre composición y mezclado, en el tercer número se describe la gran variedad de métodos de fabricación y curado y cómo los respectivos procesos deben adaptarse al tipo de defensa, al rendimiento requerido y al compuesto elegido. Dado que los métodos de fabricación y curado escogidos se reflejan directamente en las propiedades de la defensa, un fabricante responsable y experimentado siempre dará prioridad a la calidad del producto y optará por el método óptimo.

En el boletín técnico #3 de la serie, SFT analiza los métodos de fabricación y curado centrándose en los parámetros clave para la calidad: presión, temperatura y tiempo. Sobre esta base, se presentan los diversos procedimientos posibles. Es importante destacar que se puede usar más de un método para producir exactamente el mismo tipo de defensa, pero no todos los métodos ofrecen la misma calidad. Así pues, para elegir el método más adecuado se ha de contar con una amplia experiencia. En el presente número de los Boletines Técnicos de SFT se analizan atentamente parámetros importantes en la fabricación y el curado, además de los métodos disponibles, que intervienen en las características cualitativas de la defensa, todo lo cual constituye la tercera piedra angular de la producción de defensas de alta calidad.

Boletines técnicos de SFT.

Compartir conocimientos profundos con el sector es parte de lo que convierte a los Boletines Técnicos de SFT en una valiosa contribución a los estándares más avanzados en la fabricación de defensas. Como continuación de lo explicado en los boletines anteriores, el boletín #3 de SFT aporta un análisis práctico de los aspectos relevantes en la fabricación y el curado de defensas, y precede al boletín #4, que cierra la serie con información detallada sobre el testeo.

En los boletines previos (#1: Composición. Un camino sinuoso; y #2: Mezclado. Una operación paso a paso), se ponía énfasis en la gran importancia de los requisitos para cada proyecto de fabricación de sistemas de defensas, en los cuales se deben aportar soluciones a medida para cada caso y cada contexto. **Las conclusiones que se pueden extraer de los boletines #1 y 2 son la relevancia del compuesto de caucho específico de cada defensa, la importancia de que una**



Boletines técnicos de SFT:
#1 Composición | # 2 Mezclado | #3 Curado | # 4 Testeo

defensa presente las propiedades físicas requeridas para su campo de aplicación concreto y la necesidad de elegir el dispositivo de mezclado más apropiado para cada paso de producción, ya que desempeña una función crucial en la producción de una defensa de alta calidad.

El tema central de esta serie de boletines y de los debates en el sector es que solamente las propiedades físicas de un compuesto de caucho implican la mayor correlación con la calidad y la durabilidad, y están basadas en normas definidas internacionalmente. Directivas internacionales actuales como PIANC2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) o BS6349 (2014) se refieren exclusivamente a las propiedades físicas de una defensa de caucho. En consecuencia, la durabilidad de una defensa y sus propiedades físicas son y seguirán siendo los objetivos que guían la fabricación de defensas, en los cuales el Grupo SFT ha centrado su compromiso.

Boletines Técnicos de SFT – #3.

El número 3 de los Boletines Técnicos de SFT trata de forma práctica una de las etapas cruciales a efectos de calidad en el sector de las defensas: Fabricación y curado.

La fabricación consiste en el proceso de dar forma de defensa al compuesto de caucho laminado, ya sea usando un molde, devanando las láminas de caucho sobre un mandril tubular o extruyendo el caucho a través de una matriz. El siguiente paso es el curado o endurecimiento del caucho, es decir, hacer que su estado pase de plástico a elástico. En un intervalo de tiempo concreto, la presión y la transferencia de energía en forma de calor transforman el caucho no vulcanizado en una estructura molecular tridimensional reticulada que otorga al producto vulcanizado sus extraordinarias propiedades finales. A pesar de que hay una gran variedad de métodos de fabricación y curado entre los que elegir, el correspondiente proceso debe adaptarse al tipo de defensa, al rendimiento requerido y al compuesto elegido. **Un fabricante fiable y experimentado siempre dará prioridad a la calidad del producto y optará por el método óptimo.**

Este boletín se divide en tres secciones, en las cuales se ofrece una introducción (sección A) a los elementos que más afectan a la fabricación (sección B) y el curado (sección C), y concluye explicando las consecuencias de la fabricación o curado incorrectos en una defensa de caucho.

A. Presión, temperatura y tiempo.

Antes de explicar en detalle los diversos métodos de fabricación y curado, cabe destacar que hay tres factores principales que influyen en cada método: **la presión, la temperatura y el tiempo. Controlar estos tres parámetros resulta fundamental para obtener un producto de caucho duradero y de alta calidad.** Una defensa duradera solo se puede fabricar a la presión exacta, con la temperatura precisa y aplicadas durante el período de tiempo correcto. Esto es todavía más importante en el caso de defensas de alto rendimiento, como las cónicas o de tipo celda.

Se puede diferenciar entre la presión interna y la externa; ambas influyen en gran medida en el producto final. **La presión interna es resultado de la expansión térmica del caucho. La presión externa se aplica desde el exterior con distintos mecanismos, en función del método de fabricación.** Una presión interna insuficiente conduce a la fabricación de productos de baja calidad con poca durabilidad y que se delaminan. También pueden producirse otros defectos, como marcas de flujo o una fuerza de adherencia insuficiente entre las placas de acero integradas y el caucho. Ciertas marcas de flujo constituyen una imperfección superficial y son habituales en el sector. Sin embargo, cuando se presentan de manera excesiva, pueden indicar defectos internos, como huecos dentro del cuerpo de caucho que no se pueden detectar a simple vista. Estos defectos se manifiestan durante las pruebas de funcionamiento o, como muy tarde, en el testeo de rendimiento. Si se aplica una presión interna adecuada durante la fabricación y se mantiene durante el curado, se reduce considerablemente el riesgo de delaminación, presencia de huecos, marcas de flujo excesivas o defectos internos. La presión recomendada puede oscilar entre 2 MPa y 15 MPa, en función del compuesto, el tamaño de la defensa y el método de producción (véase la figura 1).

Al igual que la presión, la temperatura tiene efectos sobre el producto final y normalmente se mantiene por debajo de 90 °C en la fabricación y entre 100 y 150 °C durante el curado. **El hecho de aumentar la temperatura de curado gradualmente es muy importante para evitar calentar de golpe el compuesto al máximo** (véase Figura 2). Si las temperaturas son demasiado bajas durante el proceso de fabricación, se obtiene una baja fluidez del caucho, y, si la viscosidad no es suficiente, es posible que el molde no se llene del todo, lo que puede ocasionar defectos graves. Por otro lado, unas temperaturas demasiado altas durante el curado pueden provocar abrasamiento, un término que hace referencia al vulcanizado prematuro: la superficie del caucho pierde el color y se quema, de manera que el producto resulta dañado. Las temperaturas altas se relacionan estrechamente con el tiempo de curado. **Para acelerar el proceso de curado, algunos fabricantes compensan unos tiempos de curado más cortos aplicando temperaturas más altas, algo no recomendable ya que puede dar lugar a defectos o productos de baja calidad.**

El tiempo de curado depende del grosor del caucho y del compuesto, y oscila entre unas horas para defensas de pequeño tamaño y hasta dos días para defensas grandes. **El tiempo de curado exacto para cada compuesto de caucho se determina y predefine por separado para cada uno de ellos después de finalizar el proceso de mezclado** (véase la página 12 del Boletín Técnico #2). Así como una presión interna baja puede conllevar una fuerza de adherencia reducida entre las placas de acero integradas y el caucho, unos tiempos de curado excesivamente largos pueden provocar el mismo efecto. Un tiempo de curado demasiado corto, incluso a la temperatura correcta, también puede dar lugar a un producto de baja calidad, ya que el curado no llega a su fin y las defensas no ofrecerán el rendimiento requerido (véase la figura 3).

La presión, la temperatura y el tiempo se tienen que ajustar por separado para cada tipo de defensa, nivel de dureza requerido y tamaño. La evaluación de los parámetros apropiados para el producto de caucho en cuestión debe correr a cargo de un fabricante con experiencia; las consecuencias negativas de un tratamiento incorrecto pueden ser graves.

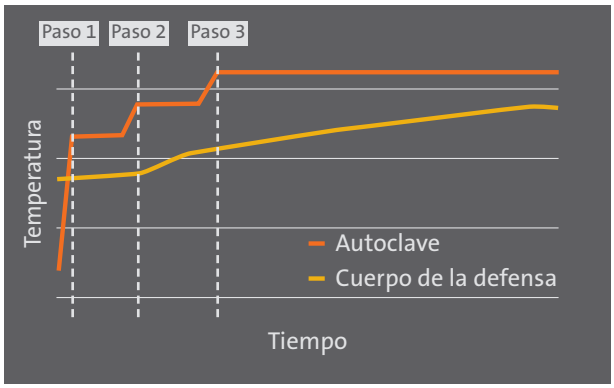


Figura 2: Aumento de la temperatura durante el curado

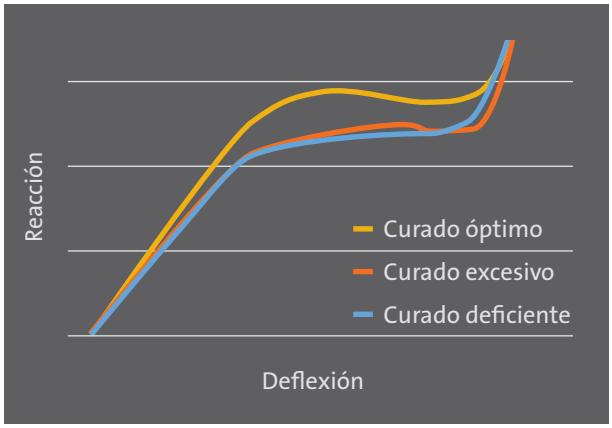


Figura 3: Efecto del curado en el rendimiento

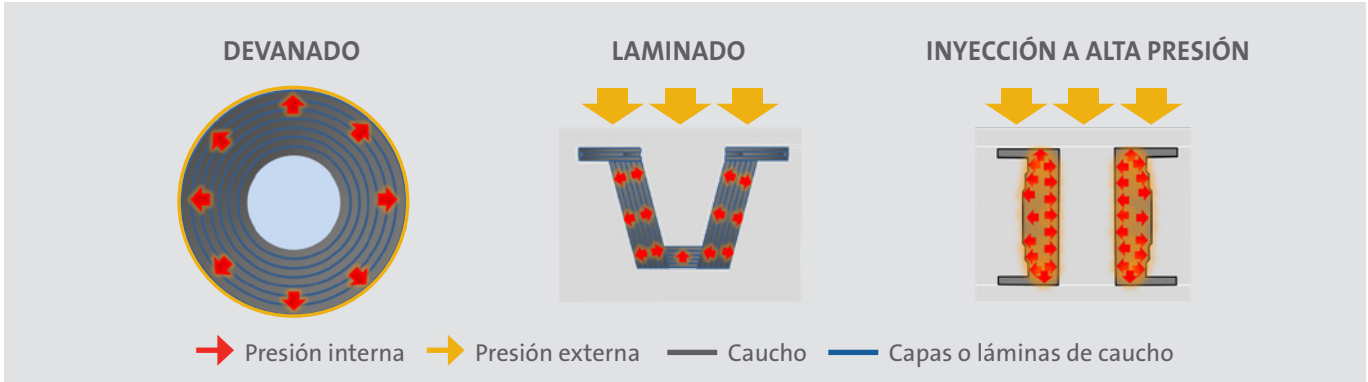


Figura 1: Presión interna y externa durante el curado

B. Fabricación: donde surge la magia.

Como ya se explicó en el Boletín Técnico de SFT anterior, cuando se completa el proceso de mezclado, en el que se combinan caucho con azufre, aditivos reforzantes, aceite de proceso y otros aditivos químicos, se obtiene el compuesto acabado sin vulcanizar. El compuesto de caucho se almacena en láminas plegadas y sin cortar, a la espera del siguiente paso clave del proceso de fabricación: darle la forma característica a la defensa deseada. Cabe señalar que hay diversos métodos que se pueden usar para producir exactamente el mismo tipo de defensa. **Sin embargo, no todos los métodos dan como resultado la misma calidad, por lo cual un fabricante experimentado elegirá el procedimiento ideal para conseguir un producto de la máxima calidad posible.** Además, el método idóneo para la fabricación de defensas dependerá del tipo de defensa, del rendimiento requerido y del compuesto adecuado para estas condiciones.

El proceso de fabricación más habitual de defensas de alto rendimiento es la inserción o inyección del compuesto en un molde. Existen dos tipos de moldes: convencionales o con revestimiento. Ambos consisten en una cavidad que se cierra mediante un contramolde, pero, además, los moldes con revestimiento cuentan con paredes exteriores dobles, que permiten la circulación del vapor durante el curado. Los dos tipos se pueden cerrar mediante pernos para evitar que, al expandirse, el caucho abra el molde. Si el uso de pernos no es posible, los moldes se deben colocar en una prensa durante el curado.

Cuando se usa un molde, es necesario rellenarlo con la cantidad adecuada de caucho. Si la cantidad introducida no es suficiente, se limita la presión interna desarrollada, lo que provoca diversos defectos dentro de la defensa y deriva en un bajo nivel de calidad del producto. Si se introduce demasiado caucho, el molde no se puede cerrar totalmente, lo que ocasiona costes elevados y posibles daños en el equipo.

Otros métodos de fabricación consisten en devanar el compuesto alrededor de un mandril tubular o en extrusionarlo a través de una matriz. En el resumen de la página 6 se describen diversos métodos usados en la fabricación de defensas y se evalúan sus ventajas, los tipos de defensa a los que se aplican, los posibles inconvenientes, y particularidades relacionadas con la presión, la temperatura y el tiempo.



Molde con revestimiento, fijado mediante pernos, durante el proceso de inyección de caucho a alta presión



Cierre de un molde con su contramolde antes del curado

MÉTODOS DE FABRICACIÓN

01 Moldeado mediante inyección a alta presión



- El moldeado mediante inyección a alta presión es un proceso de fabricación muy eficiente en el que se emplean moldes normales y con revestimiento, y es aplicado por equipos de producción modernos y sofisticados. El moldeado se cierra con su contramolde. A continuación, el caucho precalentado se inyecta en el molde a alta presión.
- En general se puede usar para fabricar todo tipo de defensas moldeadas, y es especialmente adecuado para defensas cónicas y de tipo celda o elemento.
- + La cantidad de caucho que se inyecta a alta presión en el molde se puede controlar con precisión, hecho que permite un proceso de producción más controlado.
- + Ciclos de producción cortos y con un alto nivel de eficiencia, con presión y temperatura constantes y uniformes durante el proceso.

Este método requiere operarios experimentados y tecnología avanzada de control de equipos y procesos para mantener la presión, la temperatura y la velocidad a los niveles adecuados. Sin embargo, si se lleva a cabo correctamente y se automatiza, el proceso resulta muy eficiente y permite la producción a gran escala con un rendimiento excelente. Frente al resto de procesos, el moldeado mediante inyección a alta presión goza de un gran éxito y se ha convertido en el método preferido para la fabricación de alta calidad.

02 Moldeado por compresión o por laminación



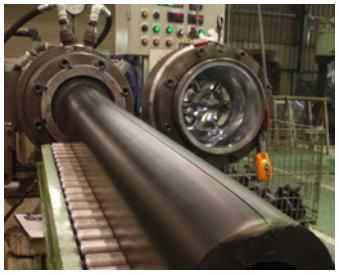
- Aparte del moldeado por inyección, este es uno de los métodos de moldeado más habituales: láminas precalentadas se apilan manualmente en el interior de un molde que a continuación se cierra mediante su contramolde.
- Se suele usar para la fabricación de defensas de tipo V.
- El control de la presión en el molde es limitado, y por lo tanto no es adecuado para determinados productos. El molde abierto requiere una cantidad adicional de caucho para rellenarlo completamente.
- + Este método es sencillo y económico en comparación con los otros métodos, pero puede comprometer la calidad y la durabilidad.

03 Devanado



- Las láminas de caucho se enrollan alrededor de un mandril tubular y se van superponiendo mientras el mandril gira. Este procedimiento se repite hasta que se alcanza el diámetro exterior requerido y la forma deseada.
- El devanado se suele emplear para fabricar defensas cilíndricas. Para este método no se necesitan moldes.
- − Los valores de presión son bajos, en comparación con otros métodos de moldeado, por lo que tiende a generar arrugas.
- − No es aplicable para defensas con placas de acero integradas.

04 Extrusión



- El caucho es extruido a través de una matriz que permite crear perfiles de defensas continuos con una forma constante. Este método aplica mucha menos presión que otros procesos de fabricación.
- Se utiliza para fabricar defensas D, rectangulares o con otros perfiles.
- + Un flujo continuo y de fácil manejo permite crear formas de cualquier longitud.
- − No se puede aplicar con todos los compuestos de caucho.
- − No es aplicable para defensas con placas de acero integradas.

C. Curado: la metamorfosis del caucho.

Esta sección trata sobre uno de los pasos con mayor poder transformador en el proceso de producción de defensas: el curado del caucho, también llamado vulcanización. El curado es la transformación del caucho, que pasa de un estado plástico a uno elástico, mediante la aplicación de presión y calor.

Se puede comparar al proceso de hervir un huevo: el caucho solamente se puede vulcanizar una vez y la transformación del estado plástico al elástico es irreversible.

El compuesto de caucho sin vulcanizar contiene azufre y otros aditivos que, mediante el calor, activan el proceso de vulcanización. En este proceso, las cadenas aisladas de polímero de caucho crean una estructura tridimensional reticulada que es la base para la fabricación de una defensa de caucho funcional. **El caucho es sometido a una carga tridimensional durante cada deflexión de las defensas en todos los modelos, formas y geometrías.** La estructura volumétrica que se deriva de la disposición tridimensional también proporciona propiedades mecánicas a la defensa, como resistencia a la tracción, resistencia a la cizalladura y rigidez. **Cabe señalar que sin el curado no habría defensa alguna que funcionara. Lo mismo se puede decir de cualquier otro producto de caucho.**

Durante el proceso de curado, el caucho sin vulcanizar es expuesto habitualmente a vapor a alta temperatura, durante un período de tiempo predefinido y específico. Este proceso se lleva a cabo en un vulcanizador y a veces cuenta con la ayuda de presión externa adicional. **El vulcanizador, también llamado autoclave, configura un entorno cerrado y es usado en la mayoría de los procesos de curado.** El curado de las defensas fabricadas mediante devanado o extrusión se lleva a cabo dentro de la cámara, mientras que en el caso de las defensas moldeadas se aplica presión externa adicional con una prensa integrada en el autoclave. Esto se hace para generar presión adicional en los moldes cerrados mediante pernos, de manera que se consigue incrementar la calidad, o bien para cerrar los moldes que no pueden fijarse con pernos. Los moldes con revestimiento no necesitan vulcanizador, ya que el curado se consigue desde las paredes dobles del molde. A pesar de que la mayoría este tipo de moldes se cierran mediante pernos, también se introducen en una prensa para añadir presión adicional y conseguir una mejor calidad. **Por lo que respecta a la fabricación, los métodos de curado vienen determinados por el tipo de defensa, y los parámetros de curado se deben definir en función de los requisitos específicos del proyecto de defensa.** Encontrar el itinerario óptimo que ayude al fabricante a conseguir la mejor calidad posible es la clave del curado y de todos los demás pasos de la producción de defensas.



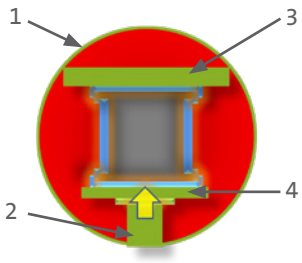
Autoclave



Molde con revestimiento, fijado mediante pernos

MÉTODOS DE CURADO

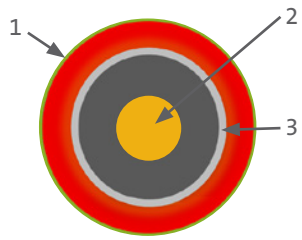
01 Uso de autoclave para defensas moldeadas



1 Autoclave
2 Prensa
3 Placa superior
4 Placa inferior

- Los moldes, que contienen caucho sin vulcanizar, se introducen en la cámara cerrada del autoclave y son expuestos a vapor, mientras se aplica una presión externa al molde mediante la prensa integrada.
- Límite de tamaño para el uso de moldes grandes; este método no se puede usar para defensas de grandes dimensiones.
- \+ Los valores correctos de temperatura y presión generados por el autoclave crean las mejores propiedades físicas posibles y garantizan una calidad de producto elevada y homogénea.
- \+ Control de proceso sencillo.

02 Autoclave para defensas fabricadas mediante devanado o extrusión

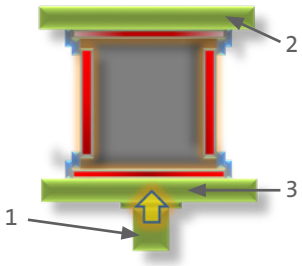


1 Autoclave
2 Mandril tubular
3 Tiras de nailon

**Diagrama mostrando la defensa enrollada*

- Las láminas de caucho que se han devanado sobre el mandril tubular se cubren de tiras húmedas de nailon y después se lleva a cabo su curado en el autoclave. Las tiras de nailon se retraen cuando se calientan y de este modo aplican presión sobre el caucho. El mandril tubular se coloca en un soporte móvil para garantizar que la forma cilíndrica no sufra deformaciones.
- El curado de las defensas fabricadas mediante extrusión se lleva a cabo dentro del autoclave.
- No se utiliza ninguna prensa y, por lo tanto, se aplica menos presión que en los otros métodos, algo que puede provocar la aparición de huecos.
- − Tiende a generar defectos debido a la baja presión.

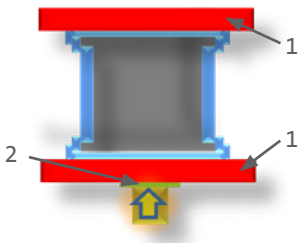
03 Revestimiento y prensa



1 Prensa
2 Placa superior
3 Placa inferior

- Durante el proceso de curado se hace circular vapor a través de las paredes dobles para calentar el caucho hasta la temperatura de curado apropiada.
- La temperatura y el tiempo de curado de cada elemento del molde se puede controlar de manera independiente, hecho que permite conseguir una distribución uniforme del calor y alcanzar todas las partes de la defensa.
- \+ Es el método más adecuado para las defensas de mayores dimensiones, pero también está disponible para otras más pequeñas.
- \+ Control de la temperatura de curado de cada defensa por separado.

04 Prensa de placas calientes



1 Placas calientes
2 Prensa

- La prensa está dotada de una placa caliente en la parte superior y de otra en la inferior, que aplican presión y calor para la vulcanización.
- Dado que el calor solo emana desde arriba y abajo, la transferencia de energía en forma de calor en el eje horizontal no es ideal.
- En moldes gruesos de defensas grandes, la disipación de calor es insuficiente, por lo cual este método se usa principalmente para defensas pequeñas.

Equipo Molde Caucho Calor

Como se ha mencionado previamente, durante los procesos de fabricación y curado pueden ocurrir fallos diversos, como una temperatura demasiado baja o alta, tiempos de curado demasiado cortos o largos, presión insuficiente, un molde rellenado con menos caucho del necesario, o una combinación de fallos ocasionados por fabricantes u operarios con poca experiencia. Como consecuencia de estos errores se producen defectos que pueden ser interdependientes como, por ejemplo:

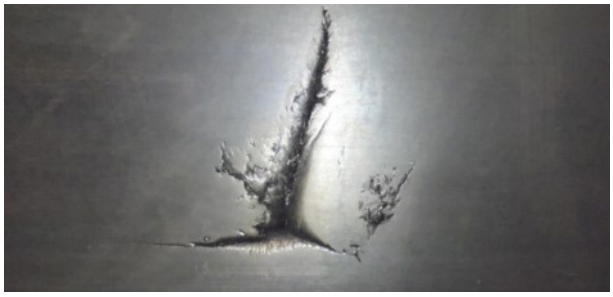
- Huecos
- Delaminación
- Defectos en la superficie, como marcas de flujo excesivas
- Adherencia insuficiente entre placa de acero y caucho

Todos estos defectos afectan negativamente al rendimiento de las defensas y reducen su durabilidad. En último término, suponen un riesgo mayor de accidentes o tiempo de inactividad en los muelles. Si una defensa de caucho no funciona como se espera, no se puede garantizar la seguridad en las operaciones marítimas.

En la Tabla 1 se ofrece un resumen de la interacción entre los métodos de fabricación y de curado.



Delaminación



Defectos superficiales



Adherencia insuficiente

MÉTODO DE FABRICACIÓN	TIPO DE DEFENSA	PROCESO DE FABRICACIÓN	MÉTODO DE CURADO
INYECCIÓN A ALTA PRESIÓN	Todos los tipos; más adecuado para defensas cónicas y de tipo celda o elemento	El caucho se inyecta automáticamente en el molde	Autoclave o, en función del tamaño, revestimiento
COMPRESIÓN	Normalmente defensas V	Las láminas se colocan manualmente en un molde	Autoclave o prensa con placas calientes
DEVANADO	Defensas cilíndricas	El caucho se enrolla alrededor de un mandril tubular en rotación	Autoclave
EXTRUSIÓN	Perfiles de defensa, de cualquier longitud	El caucho es extruido mediante una matriz	Autoclave

Tabla 1: Resumen de métodos de fabricación y curado

Conclusión.

El Boletín Técnico #3 concluye que es fundamental destacar la relevancia de la fabricación y el curado en el sector de las defensas. Dado que hay varias maneras de llevar a cabo estos dos pasos, está en manos del fabricante elegir los procesos óptimos. La presión, la temperatura y el tiempo son factores decisivos para conseguir la mayor calidad, especialmente por lo que respecta a la prevención de los defectos más típicos del producto final. El tratamiento incorrecto de estos parámetros origina graves daños y averías de las defensas durante su uso. **En una época en que la transformación digital y las tecnologías innovadoras se están volviendo cada vez más importantes, hay ciertas cosas que simplemente no se pueden automatizar ni reemplazar: el conocimiento práctico y la experiencia acumulados durante décadas en un sector complejo como es el de la fabricación de defensas.** Al igual que en otros procedimientos de este sector, tampoco en la fabricación y el curado hay una solución «multiusos». La complejidad e interdependencia de los diversos pasos se derivan de este conocimiento práctico, que se ha ido cultivando a lo largo del tiempo. Como fabricantes de defensas con un conocimiento profundo y una experiencia acumulada sin igual en la fabricación de productos de caucho, en el Grupo ShibataFenderTeam sabemos que todos los pasos durante la producción, la elección de la materia prima y el diseño de una defensa son interdependientes y tienen que ser elegidos uno por uno para reconocer la importancia que merece la naturaleza única de cada proyecto. Este enfoque verdaderamente holístico es una de nuestras responsabilidades principales, al mismo tiempo que garantizamos el cumplimiento estricto de las normativas y directivas internacionales. **Con nuestros boletines técnicos, SFT deseamos abogar continuamente por una mayor transparencia en la producción de defensas, con el fin de garantizar estándares de calidad impulsados por el compromiso con productos de alto rendimiento y un claro sentido de la responsabilidad.**

El boletín técnico #4 será el último de la serie y estará dedicado al testeo. En él se explicarán con detalle diferentes métodos de pruebas para aclarar cómo se pueden alcanzar las propiedades físicas requeridas en una defensa de alta calidad.

Referencias:
Todas las referencias de este boletín técnico proceden de:
- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie *(Introducción a la tecnología del caucho)*. München: Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie. Band 3 Mischungsentwicklung und Verarbeitung (Guía de referencia sobre la tecnología del caucho. Volumen 3: desarrollo y procesamiento de compuestos.) Ratingen: Gupta

Nota:

- **El moldeado mediante inyección a alta presión permite crear productos de mayor calidad.**
- **La presión, la temperatura y el tiempo son cruciales para la fabricación y el curado; estos tres parámetros están relacionados entre sí.**
- **La experiencia y el conocimiento práctico son factores fundamentales en cada paso de la producción.**

Grupo ShibataFenderTeam.

El Grupo ShibataFenderTeam es un fabricante líder internacional de sistemas de defensa con más de 50 años de experiencia en la producción de defensas, más de 100.000 defensas en servicio y más de 90 años de experiencia en la elaboración de productos de caucho. Shibata Industrial, con sede en Japón, es responsable de la producción y la I+D, mientras que ShibataFenderTeam, con sede en Alemania, se ocupa del diseño y las ventas. Sus oficinas regionales en los Estados Unidos, Europa y Asia cuentan con el apoyo de una amplia red de representantes locales bien establecidos en seis continentes. Crear y proteger el valor es el objetivo esencial al que nuestros productos están destinados. Ofrecemos la gama completa de productos de defensas marinas, desde simples perfiles de caucho hasta sistemas de alta ingeniería, así como accesorios y fijaciones. La excelencia en ingeniería significa que nuestros socios pueden estar seguros de que pueden esperar lo mejor en todas las áreas. Nuestra experiencia nos ha granjeado una reputación como socio de confianza en el mercado internacional de puertos, muelles y vías navegables.

www.sft.group

BOLETÍN TÉCNICO #4

TESTEO.

UN ENFOQUE BASADO EN BUENAS PRÁCTICAS



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Índice.

Boletines técnicos de SFT 38

Boletines técnicos de SFT – #4 38

A. Resumen de los diferentes métodos de ensayo 39

- Ensayos fundamentales 39
- Ensayos de durabilidad 39
- Ensayos de aprobación de tipo 40
- Ensayos de verificación 40

B. Ensayos de verificación: detalles 41

- Ensayos de material 41
- Trazabilidad 42
- Ensayos de rendimiento 43
- Verificación de las dimensiones 46
- Comprobación visual 46
- Guía de buenas prácticas de SFT: preguntas frecuentes 46

C. Información adicional: defensas de espuma, defensas neumáticas y escudos de acero 47

Conclusión 49

Grupo ShibataFenderTeam 49

Resumen ejecutivo.

El cuarto y último número de los boletines técnicos de SFT complementa a los tres números anteriores, del 1 al 3, en los que se explica en detalle la composición, el mezclado, la fabricación y el curado. El boletín técnico n.º 4 de SFT cierra la serie con un profundo análisis de los métodos de ensayo aplicados a las defensas, que incorporan enfoques basados en buenas prácticas para verificar las propiedades de rendimiento necesarias y la durabilidad de una defensa comercial. En este documento, se destaca la importancia del testeo y se explica claramente cómo interpretar los resultados de los diferentes ensayos. Puede utilizarse como una guía práctica para que los clientes conozcan el enfoque ideal que debe aplicarse al complejo programa de testeo de defensas en función del punto de vista de un fabricante experimentado.

En el resumen de los cuatro métodos de ensayo —ensayos fundamentales, de durabilidad, de aprobación de tipo y de verificación—, se presenta información valiosa sobre la práctica industrial y conocimientos básicos sobre el testeo de defensas en general.

El documento se centra principalmente en los ensayos de verificación, ya que se trata del área de comprobaciones más relevante para garantizar al cliente que la defensa final se ha fabricado tal como solicitó. Se explican las cinco partes diferentes de los ensayos de verificación (ensayos de material, trazabilidad, ensayos de rendimiento, verificación de dimensiones y comprobación visual), incluyendo los factores más importantes de los ensayos de rendimiento. En la sección de preguntas y respuestas, se incluye una reflexión sobre los requisitos del sector, información práctica sobre las cuestiones más frecuentes y esenciales en relación con los factores de corrección, la forma de abordar las desviaciones y la consecución de los resultados de ensayo requeridos.

Asimismo, el boletín n.º 4 expone los aspectos básicos de las defensas neumáticas, las defensas de espuma y los escudos de acero para cubrir este tema por completo.



Boletines técnicos de SFT:
N.º 1 Composición | N.º 2 Mezclado | N.º 3 Curado | N.º 4 Testeo

Boletines técnicos de SFT.

Las defensas están diseñadas para crear un entorno seguro para los barcos, los pasajeros y las infraestructuras portuarias, por lo que la seguridad, la fiabilidad y la durabilidad son sumamente importantes durante la vida útil de una defensa y tras ella. **La calidad de una defensa puede medirse únicamente por sus propiedades físicas y su rendimiento en su área de aplicación específica.** Cada proyecto de defensa es único y constituye una solución personalizada para cada caso y situación. **El objetivo del boletín técnico consiste en compartir con el sector los profundos conocimientos y la dilatada experiencia de SFT, y analizar de cerca qué entendemos realmente por una buena defensa, desde los materiales originales y los procesos de fabricación hasta el testeo.**

Junto con los boletines técnicos de SFT (#1: Composición. Un camino sinuoso; y #2: Mezclado. Una operación paso a paso) y Fabricación y curado. Perfección avanzada), se han descrito métodos de fabricación relevantes y se ha mostrado que no existen directrices ni estándares donde se especifique la composición química del caucho, ni disposiciones obligatorias respecto a los procesos de mezclado y fabricación. **No obstante, las directrices y los estándares internacionales como, por ejemplo, PIANC2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) o BS6349 (2014), garantizan que las defensas funcionen de la forma en que fueron diseñadas al instalarse en el muelle y definen los atributos físicos obligatorios de las defensas de caucho. Este es el motivo por el que son tan importantes los resultados de los diversos métodos de ensayo: son la demostración esencial y definitiva de que una defensa posee las propiedades físicas requeridas y es un producto de alta calidad que puede responder a todos los desafíos del atraque a los que puede enfrentarse.** Para poner de relieve esta importante cuestión, el boletín técnico sobre el testeo de defensas concluye que en este número se describe uno de los pasos cruciales en la fabricación de defensas.



Boletines técnicos de SFT:
N.º 1 Composición | N.º 2 Mezclado | N.º 3 Curado | N.º 4 Testeo

Como fabricantes experimentados, en el Grupo SFT consideramos que contribuir a aumentar la calidad en el sector es una de nuestras principales responsabilidades, y se ve impulsada por nuestro firme compromiso con la fabricación y el diseño holísticos de defensas.

Boletines Técnicos de SFT – #4.

Las características de un compuesto de caucho y su comportamiento durante el proceso de mezclado, fabricación y curado son aspectos complejos. Tal como hemos aprendido de los anteriores boletines técnicos de SFT, las propiedades físicas de una defensa requeridas pueden variar en función del proyecto, de ahí que la fabricación sea específica de cada encargo. **En el boletín técnico n.º 4, se ofrece orientación y ejemplos de buenas prácticas de los diferentes métodos de ensayo, y se describe cómo funcionan.** Se divide en tres secciones: un resumen de los diferentes métodos de ensayo (Sección A), un enfoque centrado especialmente en los ensayos de verificación (Sección B) e información adicional en relación con las defensas neumáticas, las defensas de espuma y los escudos de acero (Sección C). El boletín técnico prioriza los ensayos de verificación con asesoramiento práctico respecto a lo que se debe tener en cuenta desde la perspectiva de un cliente y sirve de guía para problemas frecuentes relacionados con factores de corrección, desviaciones y cómo tratar ciertos retos que podrían producirse durante el proceso de testeo.

El documento contiene información esencial sobre la práctica del testeo de defensas según las normas y directrices internacionales actuales, y demuestra el enfoque de ensayo recomendado desde la perspectiva de un fabricante de defensas experimentado, fiable y fidedigno.

A. Resumen de los diferentes métodos de ensayo.

Existen diferentes métodos de ensayo con distintos objetivos de testeo como, por ejemplo, obtener una aprobación de tipo para una defensa, establecer valores de catálogo estándar y realizar ensayos de durabilidad, propiedades físicas o rendimiento. **Los diferentes métodos se basan en estándares internacionales y en recomendaciones ampliamente aceptadas. Algunos de los ensayos se llevan a cabo antes del pedido de un cliente (por ejemplo, durante la fase de desarrollo de la defensa).** Los ensayos de verificación garantizan que el cliente pueda examinar la defensa final y verificar que ha recibido justo lo que solicitó. A continuación, se describen cuatro métodos de ensayo diferentes.

Ensayos fundamentales

↳ **Ensayos de durabilidad**

Ensayos de aprobación de tipo

Ensayos de verificación

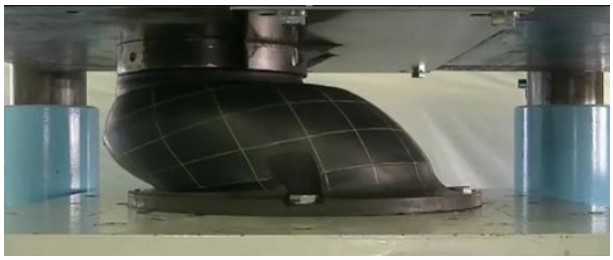
Figura 1: Resumen de los diferentes métodos de ensayo

Ensayos fundamentales

Los ensayos fundamentales se llevan a cabo empleando un modelo a escala para establecer datos de rendimiento de catálogo y determinar factores de corrección, que son datos fundamentales para la aprobación de un tipo de producto. Estos ensayos están diseñados para probar, como mínimo, el tipo de condiciones y situaciones definidas en las recomendaciones del sector, por lo que no es conveniente realizarlos para cada proyecto de defensa debido al elevado gasto de tiempo y su coste. Los ensayos fundamentales se aplican principalmente en el desarrollo de defensas para obtener datos técnicos generales o una especificación puntual de los valores de catálogo. Los datos publicados de los ensayos fundamentales incluyen las prestaciones estándar, factores de corrección (por ejemplo, temperatura, velocidad y ángulo) y resultados de ensayos, mientras que los resultados de cualquier desarrollo y estudio tecnológico se utilizan exclusivamente para que el fabricante mejore los productos y siga manteniendo la confidencialidad.

Ensayos de durabilidad

Como parte de los ensayos fundamentales, los ensayos de durabilidad se llevan a cabo una vez por tipo de producto con una defensa de un tamaño no inferior a las dimensiones mínimas del producto comercializado del mismo modelo. **El procedimiento de ensayo impone una fatiga prolongada en la defensa durante un breve período de tiempo y evalúa su durabilidad. La muestra de la defensa con estabilización de la temperatura está expuesta a una compresión repetitiva de su deflexión de diseño, lo que significa al menos 3000 ciclos de compresión con una duración máxima de 150 segundos por ciclo, de conformidad con el acuerdo establecido entre el fabricante y el cliente, o la pauta aplicable.** Normalmente, los ensayos de durabilidad no pueden realizarse en defensas de tamaño completo. Los criterios establecidos de aprobado/rechazo para los ensayos de durabilidad requieren que las defensas ensayadas no presenten fisuras visibles a simple vista. **Siempre que el tipo de defensa o el método de producción no haya cambiado, no hay necesidad de realizar un nuevo ensayo para cada nuevo proyecto. Como opción, se recomienda un testeo combinado de compresión y fuerza de cizallamiento, en lugar de un simple ensayo de compresión.** Este ensayo combina deflexión de cizallamiento con deflexión axial. En SFT, los equipos de ensayo combinado de compresión y cizallamiento permiten que se sometan a ensayo defensas de casi cualquier tamaño, aunque el número de ciclos de compresión se ve limitado en las defensas de mayores dimensiones. En el caso de los modelos a escala, son posibles ensayos de al menos 25 000 ciclos y ya se han probado satisfactoriamente en auditorías externas a tiempo completo. **En general, no debe subestimarse el coste del ensayo de durabilidad, ya que algunos protocolos de ensayo pueden generar costes adicionales de cientos de miles de dólares.** Antes de que se requiera este ensayo en las especificaciones, el cliente debe consultar con el fabricante los detalles y los precios para determinar el presupuesto necesario para llevarlo a cabo.



Ensayo de compresión y fuerza de cizallamiento

Ensayos de aprobación de tipo

Para obtener una aprobación de tipo de producto o un certificado de examen de tipo para una defensa, un tercero certificado debe presenciar y verificar los correspondientes ensayos. **El alcance mínimo del ensayo incluye el rendimiento estándar, la durabilidad, los factores de corrección y las propiedades físicas, tal como se publica en el catálogo.** Una aprobación de tipo de producto suele ser válida durante cinco años y necesita renovarse tras el período de validez. **Cabe señalar que solo se consideran auténticos y fiables los certificados que se han subido a la web del organismo de certificación.** A lo largo del ciclo de validez, deben llevarse a cabo evaluaciones periódicas para revisar constantemente los procesos de fabricación.



Ejemplos de certificados de examen de tipo de producto de SFT. Para comprobar la verificación, consulte esta página: https://approvalfinder.dnvgl.com

Ensayos de verificación

Los ensayos de las defensas finales y del material utilizado sirven para demostrar el rendimiento y la calidad del material del producto. Los ensayos se realizan en el material y en las defensas reales que se han producido para un proyecto. **Una vez que se han determinado los requisitos y los parámetros específicos de un proyecto, corresponde al fabricante garantizar que las defensas finales y el material utilizado cumplen los requisitos individuales del proyecto del cliente.** Los ensayos de verificación garantizan que las defensas finales se hayan producido según los respectivos valores de catálogo o las especificaciones del proyecto.

Los ensayos de verificación se componen de ensayos de material, trazabilidad, ensayos de rendimiento, verificación de las dimensiones y comprobación visual, aspectos que se tratan más detalladamente en la Sección B de este documento. **Los ensayos de material se llevan a cabo en el material real utilizado para la producción de la defensa, mientras que los demás procedimientos de ensayo se realizan en la defensa final que se ha fabricado para el proyecto. En cambio, los ensayos fundamentales o de durabilidad se llevan a cabo, normalmente, en un modelo a escala.**

MÉTODO DE ENSAYO	DEFINICIÓN/ OBJETIVO	TIPO DE ENSAYO	MÉTODO DE PUBLICACIÓN	PRACTICANTE
ENSAYOS FUNDAMENTALES	Determinar datos técnicos generales y establecer factores de corrección	Compresión en diversas situaciones, material, durabilidad, rendimiento, etc.	Publicaciones, catálogos y web del fabricante	Fabricante o tercero
ENSAYOS DE DURABILIDAD	Evaluar la durabilidad	Compresión repetitiva hasta la deflexión de diseño		
ENSAYOS DE APROBACIÓN DE TIPO	Obtener certificado de aprobación de tipo	Rendimiento estándar, durabilidad, factores de corrección y propiedades físicas	Expedición de documentos de certificación por parte de terceros	Presencia y verificación por parte de un tercero
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN	Verificar la producción de defensas de acuerdo con las especificaciones del proyecto o los valores de catálogo	Ensayos de material y de rendimiento, trazabilidad, verificación de las dimensiones y comprobación visual	Informe de ensayo del fabricante o de un tercero	Fabricante o tercero

Tabla 1: Comparación de los diferentes métodos de ensayo

B. Ensayos de verificación: detalles.

Los ensayos de verificación son el método con el que se determina que los clientes reciben justo lo que han solicitado. **Este procedimiento de ensayo es de suma importancia para el cliente, ya que confirma la calidad del producto antes del envío y de la instalación en el muelle.**

Es importante que las especificaciones del proyecto ya incluyan previamente los requisitos de ensayo del cliente y los parámetros importantes relacionados con el proyecto, entre otros aspectos, para poder presupuestar de antemano los costes del testeo. Resulta crítico saber que los requisitos de ensayo especiales conllevan un determinado coste, y se aconseja estimar el presupuesto del testeo de antemano. **Requerir ensayos que vayan más allá de las normas industriales afecta al presupuesto global del proyecto en relación directa con el tamaño y la relevancia del mismo.** Si, por ejemplo, el cliente solo compra dos defensas como repuestos, no se justificarían unos ensayos de gran amplitud que generasen un gasto de cientos de miles de dólares. Otro factor importante es el tiempo de entrega: con un plazo de entrega del proyecto ajustado, no todas las defensas pueden someterse a un testeo completo, ya que los requisitos de ensayo específicos, y especialmente los ensayos de terceros, pueden superar este plazo. **Una especificación detallada es clave, y se recomienda encarecidamente consultar a un fabricante de defensas reputado y de confianza para obtener asistencia y asesoramiento sobre todos los requisitos relacionados con el proyecto.**

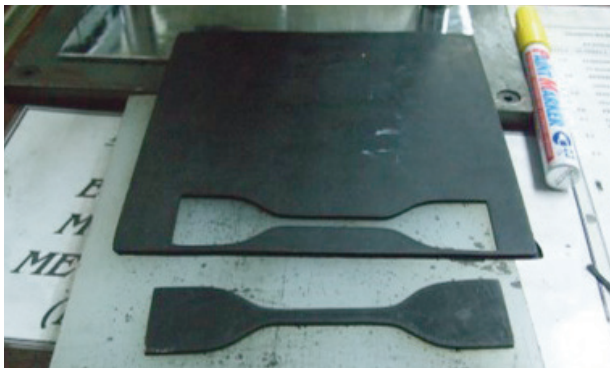
De acuerdo con las normas industriales para los ensayos de verificación, suele haber dos procedimientos diferentes para su realización. **El fabricante puede llevar a cabo los ensayos estándar internos**, o bien el cliente o el fabricante pueden seleccionar a un **tercero como testigo de los ensayos, y el testeo se lleva a cabo en las instalaciones del fabricante con sus equipos.** El tercero presencia el ensayo y verifica que todos los equipos están calibrados y disponen de una certificación válida en el momento del testeo. **Este proceso constituye una buena práctica y, a diferencia de otras soluciones individuales que puedan acordarse entre el fabricante y el cliente, es el método aconsejable.** En las siguientes secciones, se describen las cinco partes en que se divide un ensayo de verificación: ensayo de material, trazabilidad, ensayo de rendimiento, verificación de las dimensiones y comprobación visual.

Ensayos de material

Los compuestos de caucho pueden estar formados por composiciones químicas muy diferentes en función de los criterios de rendimiento requeridos, que deben cumplir las directrices y las normas internacionales como, por ejemplo, PIANC2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) o BS6349. Estas directrices garantizan que una defensa funcione tal como se diseñó cuando se instale en un puerto.



Muestra de ensayo del compuesto final para los ensayos de material



Muestra de ensayo realizada a partir de la muestra tomada del compuesto final

Las muestras de caucho que son necesarias para los ensayos de material se toman del compuesto finalizado, se preparan de forma precisa y, a continuación, se curan en el laboratorio. Posteriormente, se someten a ensayos para comprobar sus propiedades físicas bajo estrictas condiciones de laboratorio, incluyendo fuerza de adherencia y resistencia a la tracción, conjunto de compresión, dureza, elongación, resistencia al desgaste y a la abrasión, resistencia química y al ozono, y envejecimiento.

Las normas de ensayo ASTM, DIN, JIS e ISO, que son muy similares en cuanto a procedimiento y limitaciones, establecen el grosor y la forma exactos de las muestras de caucho, así como los procedimientos de ensayo. El rango de referencia de los resultados de ensayo suele basarse en la norma ASTM D2000. **Resulta crucial cumplir estrictamente la norma en cuestión, que no solo se aplica a la preparación de las muestras de ensayo, sino también al correcto almacenamiento y a la rapidez con la que deben probarse las muestras tras la producción para evitar resultados de ensayo fuera del rango de referencia y desviaciones de los resultados de ensayo del fabricante.** Puede obtenerse información detallada del fabricante en relación con los requisitos de ensayo.

Trazabilidad

La trazabilidad se comprueba para verificar que la defensa final se produce a partir del mismo compuesto que se usó para probar las propiedades físicas durante los ensayos de material. Con esta finalidad, debe llevarse a cabo un ensayo de análisis termogravimétrico (TGA) para comparar la composición de las dos muestras: la procedente de la defensa final y la del ensayo de material. Es importante que los valores coincidan/sean coherentes, independientemente del valor real. El ensayo se configura del siguiente modo: se toma una pequeña muestra de la defensa final, y se lleva a cabo un ensayo TGA. El ensayo TGA es un método de análisis térmico en el que la muestra de caucho se pesa continuamente durante el calentamiento. Los diferentes componentes se queman a distintas temperaturas, por lo que la reducción del peso ofrece un indicio de la composición de la muestra. Estos resultados se comparan con el ensayo TGA realizado sobre la muestra de caucho del compuesto finalizado, que se usó en su momento para los ensayos de material. **Si los resultados de ambos ensayos TGA son coherentes, quedará verificado que la defensa final está fabricada con el mismo compuesto que se sometió a ensayo para comprobar sus propiedades físicas durante los ensayos de material.**

Sin embargo, cabe señalar que pueden producirse desviaciones entre laboratorios. Las condiciones pueden variar entre el laboratorio que lleva a cabo el ensayo TGA en la muestra de ensayo de material (normalmente, el fabricante) y el laboratorio que realiza el ensayo TGA en la muestra de la defensa final (normalmente, un instituto indicado por el cliente). Por otra parte, pueden darse pequeñas diferencias en el bloque de la defensa (debido a variaciones de mezcla, entre otros aspectos), por lo que la muestra tomada para la trazabilidad puede presentar una composición ligeramente

ENSAYOS DE MATERIAL	TRAZABILIDAD
Realizados por el fabricante	Realizada por un fabricante o un instituto independiente
La muestra de ensayo se toma del compuesto finalizado	Tras el curado, se toma una pequeña muestra de la defensa final
Las muestras de ensayo se preparan con precisión de conformidad con las normas	La muestra debe ser pequeña para no dañar la defensa (normalmente, 50-100 g)
Las muestras de ensayo se curan en el laboratorio	
Las muestras de ensayo se someten a ensayo para comprobar sus propiedades físicas en condiciones de laboratorio	
Se realiza el ensayo TGA sobre la muestra del compuesto	Se realiza el ensayo TGA sobre la muestra de la defensa final
Se recomienda la extracción Soxhlet y, en cualquier caso, debe llevarse a cabo el mismo procedimiento para ambos ensayos	
Se comparan los resultados del ensayo TGA de ambas muestras para comprobar si coinciden	
Coherencia de los resultados de ensayo: la defensa final se ha fabricado a partir del compuesto con el que se ha realizado el ensayo de material	

Tabla 2: Proceso de los ensayos de material y de trazabilidad

diferente a la de la muestra extraída del lote. Estas irregularidades son habituales y no afectan a las prestaciones de la defensa. Asimismo, también pueden producirse las desviaciones mencionadas anteriormente si tanto el fabricante como el instituto realizan un ensayo TGA en muestras de la misma defensa.

Si el fabricante no realiza el ensayo de trazabilidad de la defensa final, el cliente deberá asegurarse de que se lleva a cabo en un laboratorio certificado (por ejemplo, certificado de acuerdo con la norma ISO 17025) que tenga experiencia en ensayos de caucho. Asimismo, es importante que el laboratorio sea independiente y que los equipos de ensayo estén perfectamente calibrados.

Sin embargo, cabe señalar que el TGA solo es un análisis cuantitativo y no ofrece ninguna indicación sobre la calidad de la defensa.

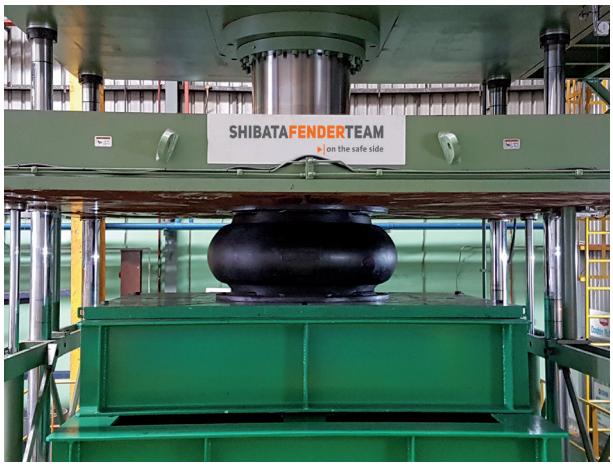
Antes de llevar a cabo el análisis TGA, debe realizarse una extracción Soxhlet añadiendo un disolvente como, por ejemplo, acetona, al caucho que, a continuación, extraerá las sustancias químicas. Si se omite este paso, el contenido de polímeros mostrará valores más altos de lo normal. **Por lo tanto, la extracción Soxhlet se recomienda para obtener resultados más precisos y para optimizar la comparabilidad entre el ensayo de la muestra de caucho y el de la defensa final.** Es obligatorio que ambos ensayos sigan la misma norma, tanto si la extracción Soxhlet se realiza para las dos muestras como para ninguna, ya que, de lo contrario, la desviación de los resultados podrá ser bastante grande. Por este motivo, es sumamente importante que el cliente o el laboratorio que lleven a cabo el ensayo en la defensa final sepan si el fabricante ha realizado la extracción Soxhlet.

En ocasiones, en el sector se cuestiona por qué los ensayos de propiedades físicas no deberían realizarse en la propia defensa final, en lugar de preparar muestras de ensayo del compuesto antes de la producción. Someter a ensayo las propiedades físicas de las defensas finales es inusual y sumamente complejo, ya que implicaría cortar una gran pieza de la defensa final sin dañarla. Esto se debe a que se necesita una cantidad de material mucho mayor para el ensayo de propiedades físicas que para la trazabilidad (TGA). Además, debe tenerse en cuenta una desviación del 15-20 % respecto a los valores de catálogo, ya que existe una gran diferencia entre los resultados de una pieza procedente del bloque de la defensa y una placa de ensayo curada y preparada en condiciones de laboratorio. Asimismo, curar una defensa es diferente de curar una pequeña muestra de ensayo (es prácticamente imposible establecer una correspondencia entre sus propiedades físicas y las de cualquier sección del producto).*

Ensayos de rendimiento

Los ensayos de rendimiento, también conocidos como ensayos de aceptación de fábrica (FAT), se llevan a cabo en el producto final para garantizar que cumpla los requisitos de rendimiento. Normalmente, y si el cliente y el fabricante no acuerdan lo contrario, se somete a ensayo el 10 % de las defensas finales.

Las defensas sometidas a ensayo se seleccionan aleatoriamente, y esta acción puede llevarla a cabo el cliente si supervisa el proceso de ensayo. A continuación, se comprimen en una gran prensa o bastidor de ensayo hasta su deflexión de diseño, mientras que la fuerza de reacción se mide con celdas de carga o transductores de presión. En el caso de las defensas de gran tamaño, resulta especialmente importante que el bastidor de ensayo tenga suficiente recorrido para alcanzar la deflexión requerida. **Solo hay un número limitado de bastidores de ensayo disponibles en todo el mundo para defensas de gran tamaño, de ahí que los ensayos de rendimiento suelan llevarse a cabo en las instalaciones del fabricante.**



Ensayos de rendimiento

* Estándares Técnicos y Comentarios sobre Instalaciones de Puertos y Muelles en Japón

LOS CUATRO FACTORES CLAVE QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA EN EL ENSAYO DE RENDIMIENTO

01 Estabilización de la temperatura

Tras el curado de una defensa, el bloque de caucho conserva calor, por lo que es importante estabilizar la temperatura de la defensa antes de realizar los ensayos de rendimiento. Esto significa que una defensa sea expuesta a una cierta temperatura durante un determinado período de tiempo para alcanzar una distribución de la temperatura uniforme por todo el producto.

La temperatura uniforme puede alcanzarse dejando la defensa a la temperatura ambiente de la planta de fabricación o utilizando una sala de estabilización térmica. En la planta del fabricante se dispone de salas de estabilización térmica, pero su espacio es limitado, por lo que solo pueden estabilizarse unas pocas defensas a la vez. Por lo tanto, si se requieren temperaturas de estabilización específicas, los períodos de ensayo pueden prolongarse varias semanas.
Ejemplo: tras el desmolde, una defensa Cónica 600 tarda un día aproximadamente hasta que todo el producto ha alcanzado la misma temperatura desde la parte exterior hasta el núcleo, mientras que una defensa Cónica 1800 tarda siete días.



Sala de estabilización térmica

Existen dos opciones para el ensayo de rendimiento:

- Las defensas se estabilizan y se ensayan a temperatura ambiente. Los resultados del ensayo se ajustan a la pauta/norma en cuestión, o a la temperatura específica de un proyecto aplicando factores de temperatura. **Este método se considera la configuración más económica y eficaz.**
- Las defensas se estabilizan en la sala de estabilización térmica de acuerdo con las directrices o las especificaciones de un proyecto, sin permitir factores de temperatura. Por lo tanto, el tiempo de ensayo puede incrementarse significativamente, al igual que los costes de testeo.

02 Preparación de la defensa

En el ciclo de preparación para el uso, tras el proceso de fabricación, se suele realizar, al menos, una compresión completa hasta la deflexión de diseño de la defensa. La fuerza de reacción de esta primera compresión no se corresponde con el valor de catálogo y no es representativa del rendimiento de la defensa durante su vida útil. El ciclo de preparación suele recomendarse para defensas de gran tamaño con elevadas fuerzas de reacción. Las defensas moldeadas pueden presentar pequeñas adherencias que deben romperse para que el producto pueda alcanzar sus propiedades de rendimiento a largo plazo.

Las defensas seleccionadas para los ensayos de rendimiento suelen someterse a un mínimo de tres ciclos de compresión, durante los cuales se presta especial atención al período de reposo de 15 a 20 minutos entre compresiones. Después de la tercera compresión, el ciclo de reposo se amplía a, al menos, una hora, tras la cual se realiza el proceso de ensayo real durante el cuarto ciclo de compresión.

03 Factores de corrección

Si las condiciones de ensayo difieren de las condiciones de diseño, se aplican factores de corrección para lograr la comparabilidad. Estos factores de corrección se establecen durante los ensayos fundamentales. Los datos de contraste se obtienen comparando los resultados del ensayo con los datos de catálogo o los requisitos específicos del proyecto para comprobar si una defensa cumple los requisitos y para verificar su rendimiento de forma concluyente.

Los factores de corrección típicos son la velocidad de ensayo (VF; factor de velocidad) o el rango de temperatura (TF; factor de temperatura). No hay marcos de ensayo independientes que puedan probar defensas con la velocidad de atraque real, por lo que se aplica una velocidad lenta constante (CV) durante los ensayos, de conformidad con el informe 33 de PIANC WG (PIANC 2002).

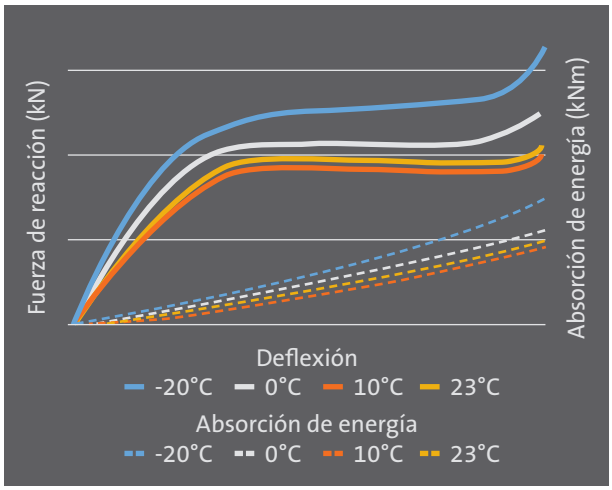


Figura 3: resultados de los ensayos de rendimiento a diferentes temperaturas de caucho

Ejemplo de cálculo de aplicación del factor de temperatura

- La defensa se ensaya a 30° (estabilización obtenida a la temperatura ambiente de la planta de fabricación). Resultado del ensayo: 766 kNm
- El factor de corrección de la temperatura a 30° es 0,976 (este valor se ha establecido durante los ensayos fundamentales)
- Corrección de la absorción de energía para el factor de temperatura: 766 kNm / 0,976 = 784 kNm
- El resultado tras el factor de corrección (784 kNm) se compara con el valor mínimo requerido (en nuestro ejemplo, 782 kNm)
- La absorción de energía de la defensa cumple los requisitos mínimos

04 Criterios de aprobado/rechazo

Durante los ensayos de rendimiento, la defensa se desvía hasta su deflexión de diseño y supera el ensayo cuando se alcanza la energía mínima en cualquier punto durante el ensayo, sin exceder la fuerza de reacción máxima. A este respecto, cabe mencionar que la deflexión no es un criterio de aprobado/rechazo*, y que la defensa supera el ensayo aunque se alcancen los valores establecidos para la energía y la fuerza de reacción antes de la deflexión de diseño.

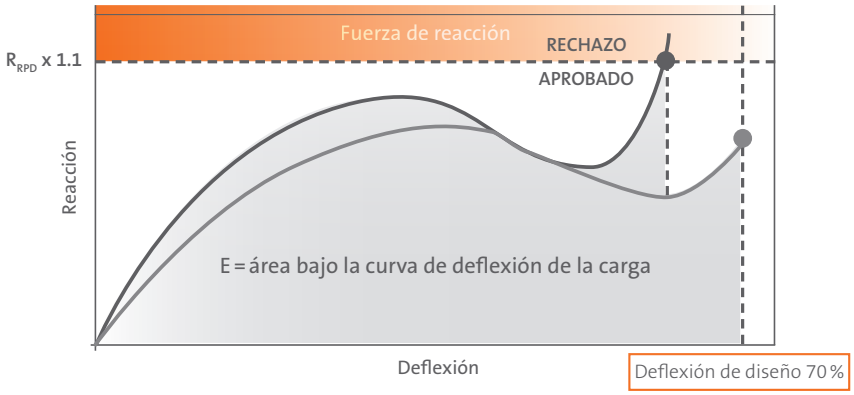


Figura 4: curva de deflexión de la carga

Dos defensas se comprimen hasta una deflexión de diseño de 70. Una de las defensas alcanza su energía mínima y su fuerza de reacción máxima antes de la deflexión de diseño, mientras que la otra lo hace en el momento de la deflexión de diseño: Ambas defensas superan el ensayo.

*PIANC: 2002, Sección 6.1.2, ASTM F2192, punto 7.1.2

Verificación de las dimensiones

Las dimensiones se comprueban y se comparan con los datos de catálogo, y deben encontrarse dentro de los valores de tolerancia del fabricante. Al medir las dimensiones en la planta de producción, deben tenerse en cuenta la contracción y dilatación térmicas. Las variaciones de tamaño entre defensas son poco habituales, ya que se han producido en el mismo molde.

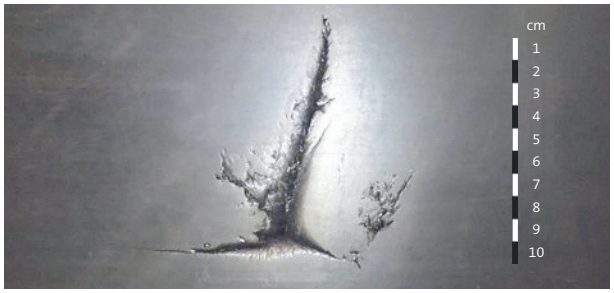


Comprobación dimensional

Comprobación visual

Durante el ensayo de verificación, se examina visualmente la defensa final para comprobar su aspecto en busca de grietas o defectos. Si la defensa muestra una pequeña protuberancia, se corrige el producto. **En general, la presencia de protuberancias no afecta al rendimiento.** Las defensas pueden presentar marcas de flujo superficial, que pueden aceptarse como algo habitual siempre que no sean demasiado extensas. Si únicamente se trata de un aspecto estético, no tienen ningún impacto en la calidad. Si el área defectuosa es extensa, el cliente debe consultar al fabricante.

Asimismo, en caso de que una defensa cilíndrica sea ovalada, es posible que sea necesario volver a fabricarla.



Protuberancia en la defensa (debe repararse o reemplazarse)

Guía de buenas prácticas de SFT: preguntas frecuentes.

En el siguiente apartado, se abordan cuestiones y preguntas importantes en relación con la verificación de los factores de corrección, la forma de categorizar y tratar las desviaciones de los resultados de ensayo, y qué ocurre si un producto no cumple los requisitos.

Q **¿Cuál es la práctica recomendada para verificar factores de corrección?**

A Podrían volver a verificarse los factores de corrección para un proyecto específico, pero normalmente se aplican los factores de corrección preasignados en los ensayos de aprobación de tipo. La cuestión importante que debe respetarse en este contexto es saber cuáles fueron el protocolo y la configuración del ensayo de factores de corrección originales, y lograr que los nuevos ensayos se correspondan con la configuración original para lograr datos comparables. Pueden darse ligeras desviaciones, que es lo normal, incluso con la misma configuración.

En este caso, las buenas prácticas recomiendan que el fabricante cuente con una aprobación de tipo, ya que los factores de corrección se calculan y se establecen durante este proceso. La aprobación de tipo se debe certificar a través de un organismo independiente y fiable, y se recomienda en todo momento que el cliente trabaje con un proveedor de confianza con una trayectoria demostrada. Se genera mayor confianza si el establecimiento de los factores de corrección se ha desarrollado en colaboración con un organismo independiente (por ejemplo, un instituto técnico, como la Universidad Kyushu de Japón). En cualquier caso, si se solicita o se requiere por cualquier motivo, pueden volver a ensayarse los factores de corrección. Este ensayo se realiza en condiciones de laboratorio, lo que conlleva un coste adicional y una mayor inversión de tiempo. **No obstante, si el pedido se realiza a un proveedor de confianza, apenas será necesario ni estará justificado realizar otro ensayo.** Por otra parte, suele ocurrir que los factores de corrección se cuestionen a la hora de llevar a cabo el testeo, aunque, en realidad, no hay ningún motivo lógico para ello: **la defensa se ha diseñado de acuerdo con los mismos factores de corrección que se han aplicado durante los ensayos.**

Q **¿Cómo lidiar con las divergencias entre los resultados del ensayo y los datos de catálogo? ¿Qué proceso debe seguirse cuando se producen divergencias?**

A **El procedimiento de buenas prácticas para gestionar las divergencias consiste en establecer una comunicación muy clara a lo largo del proyecto y en que el cliente y el fabricante acuerden el procedimiento antes del inicio de los ensayos.** El protocolo de ensayo debe determinarse claramente entre ambas partes. Las divergencias no implican automáticamente que se haya entregado un mal producto o que el material sea de baja calidad. En caso de que se produzcan, el fabricante puede comprobar la calibración de sus equipos de ensayo y revisar las condiciones del testeo. Los siguientes pasos serían comprobar los resultados del ensayo de material y el proceso de moldeado y curado.

Un posible motivo de las divergencias es que no se haya seguido el protocolo de ensayo. Por ejemplo, no se ha estabilizado la temperatura de la defensa y, por lo tanto, se ha ensayado con una temperatura incorrecta, o puede que no se haya respetado el tiempo establecido entre cada ciclo de ensayo para los ensayos de rendimiento. **El incumplimiento de los protocolos de ensayo altera los resultados del ensayo y no permite que se comparen con los datos de catálogo. Sin embargo, esto no significa que se trate de un mal producto, sino simplemente de que no pueden compararse los resultados.**

Q **¿Qué ocurre si se han respetado todas las indicaciones, pero se siguen produciendo divergencias?**

A Si los resultados del ensayo definitivos siguen mostrando divergencias, aunque se hayan descartado todos los motivos posibles, el fabricante deberá consultar al cliente para saber si puede aceptarse el producto con determinadas condiciones. **En este caso, debe analizarse el nivel de divergencia para evaluar las posibles consecuencias sobre el rendimiento de la defensa o su instalación. La decisión se tomará basándose en una cuidada evaluación y en el acuerdo entre el fabricante y el cliente.** Algunas divergencias pueden obviarse como, por ejemplo, unos milímetros de diferencias dimensionales.

Q **¿Qué ocurre si el producto no cumple los requisitos de ensayo?**

A En caso de que los resultados del ensayo de verificación no cumplan los valores requeridos de las correspondientes tolerancias, la repetición del ensayo se llevará a cabo utilizando dos conjuntos más de muestras o defensas del mismo lote de mezclado. La defensa que no supere el ensayo se rechazará y se volverá a fabricar. Si todas las muestras adicionales superan los ensayos de rendimiento y los demás ensayos de verificación de calidad, puede asumirse que las defensas restantes también cumplen los requisitos.

C. Información adicional: defensas de espuma, defensas neumáticas y escudos de acero.

El mismo principio que se aplica a cada aspecto de la fabricación de defensas también es válido para los ensayos: los diferentes proyectos de defensas, así como los distintos tipos de defensas, precisan un análisis con criterios específicos. En esta sección, se resumen los puntos clave para probar defensas neumáticas, defensas de espuma y escudos de acero .

Defensas de espuma

Para la verificación del rendimiento de una defensa de espuma, es importante definir si se está ensayando un modelo a escala o una defensa de tamaño completo (de acuerdo con la norma ASTM 2192, deben utilizarse modelos a escala para defensas de gran tamaño). La tolerancia de rendimiento típica de una defensa de espuma es +/-15 %, y la tolerancia dimensional recomendada se sitúa en +5 %/-0 %, según se acuerde entre el fabricante y el cliente.

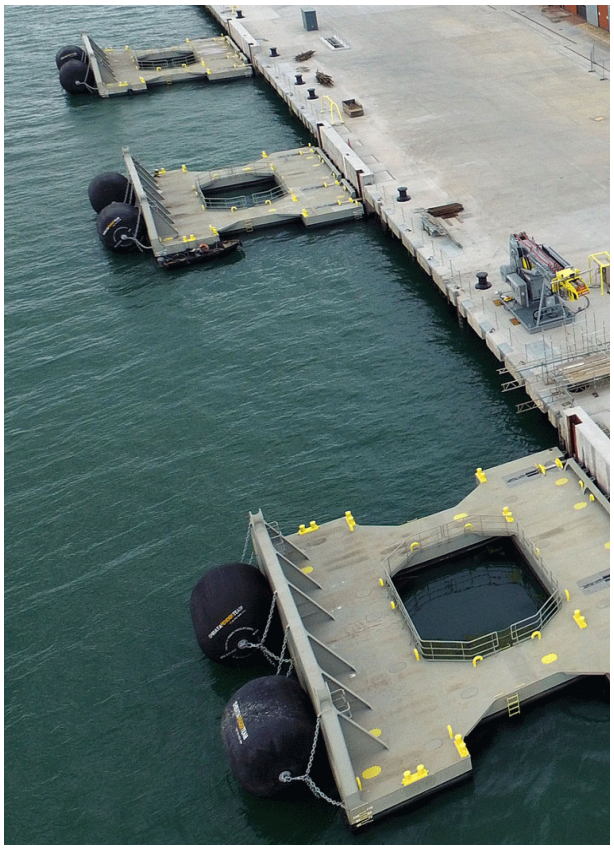
Otras ensayos analizan el grosor de la capa de la defensa, la densidad de su espuma y su estiramiento. **Para obtener más información, consulte al fabricante y asegúrese de acordar un protocolo de ensayo que, posteriormente, se siga estrictamente, así como la forma de abordar las desviaciones.**

Defensas neumáticas

El ensayo de material del caucho interior y exterior se llevará a cabo de acuerdo con la información especificada en la norma ISO 17357. La inspección dimensional debe llevarse a cabo a la presión interna inicial y se sitúa en una tolerancia de +10 %/-5 % en lo que respecta a la longitud y al diámetro.

En las defensas neumáticas se realizan ensayos para comprobar fugas de aire, y estos deben llevarse a cabo en todas las defensas a la presión inicial durante más de 30 minutos. Los resultados del ensayo deben confirmar que hay fugas de aire.

Se especificará el rendimiento de las defensas neumáticas de caucho flotantes a alta presión en términos de absorción de energía garantizada (GEA), fuerza de reacción en la deflexión GEA y presión del casco en la deflexión GEA. Estos ensayos se llevarán a cabo utilizando una defensa de tamaño real o un modelo a escala con unas dimensiones superiores a la quinta parte del diámetro real.



Defensas neumáticas

Escudos de acero

Los escudos de acero para defensas suelen estar protegidos contra la corrosión con un revestimiento de conformidad con la norma ISO 12944. **Los escudos deben someterse a inspecciones de grosor de la pintura para comprobar el grosor del revestimiento y realizar retoques en caso necesario.**

Para comprobar la estanqueidad del escudo, se lleva a cabo un ensayo de presión del mismo. Se trata de un ensayo muy habitual, que puede llevarse a cabo fácilmente en el emplazamiento de construcción: el escudo se somete a presión y, aplicando un espray de jabón alrededor de las soldaduras exteriores, puede examinarse la estanqueidad. La formación de burbujas es un indicio de que existe una fuga de aire. En tal caso, las soldaduras deben repararse soldándolas de nuevo y volviendo a comprobarlas después.

Para consultar requisitos de ensayo adicionales, se recomienda establecer un plan de ensayo e inspección (ITP) con el fabricante.



Escudo de acero

Conclusión.

Una defensa de alta calidad es el resultado de un proceso de composición, mezclado, fabricación y curado coordinado y elaborado de forma experta, así como de procesos de ensayo a cargo de un fabricante experimentado. **Los ensayos garantizan que el rendimiento y las propiedades físicas de la defensa final cumplan los requisitos individuales del proyecto, así como las normas internacionales, lo que constituye una de las razones por las que se recomienda que el cliente consulte al fabricante y haga especial hincapié en esta fase de la fabricación de defensas.**

En este boletín técnico, se analiza la importancia de establecer un protocolo de ensayo detallado antes del testeo, y se recomienda encarecidamente consultar a un fabricante de defensas reputado y de confianza para obtener asistencia y asesoramiento respecto a todos los requisitos relacionados con el proyecto. Asimismo, es de crucial importancia establecer una comunicación clara en relación con los factores de corrección y las desviaciones para garantizar la entrega de la defensa final tal como solicitó el cliente.

Un fabricante de defensas experimentado tendrá en cuenta cada aspecto importante de las normas de máxima calidad y encontrará el equilibrio óptimo en la relación calidad-precio, especialmente en lo que al testeo se refiere. **Utilizar los métodos de ensayo de forma incorrecta puede dar lugar a un mayor gasto de tiempo y dinero, que puede evitarse estableciendo de antemano el enfoque más adecuado.**

Como fabricantes de defensas con una experiencia inigualable en la producción de caucho, en el Grupo ShibataFenderTeam, consideramos que crear y fomentar el valor del producto es uno de nuestros objetivos más importantes. **Nuestra misión está impulsada por nuestro compromiso con productos de alto rendimiento y nuestro claro sentido de la responsabilidad.**

Referencias:
A menos que se indique lo contrario, todas las referencias al caucho y a la composición del caucho en este boletín técnico se extraen de:
- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie (Introducción a la tecnología del caucho). Munich: Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie. Band 4 Artikelfertigung und Qualitätssicherung (Guía de referencia de la tecnología del caucho. Volumen 4. Garantía de producción y de calidad) Ratingen: Gupta

Nota:

- **El testeo garantiza que el rendimiento de la defensa final cumpla los requisitos individuales del proyecto, así como las normas internacionales.**
- **Resulta clave establecer un protocolo de ensayo detallado antes del testeo, y se recomienda encarecidamente consultar a un fabricante de defensas reputado y de confianza.**
- **Es de crucial importancia establecer una comunicación clara en relación con los factores de corrección y las desviaciones para garantizar la entrega de la defensa final tal como solicitó el cliente.**

Grupo ShibataFenderTeam.

El Grupo ShibataFenderTeam es el fabricante líder internacional de sistemas de defensa, con más de 50 años de experiencia en la producción de defensas, más de +120.000 defensas en servicio y más de 90 años de experiencia en la elaboración de productos de caucho. Shibata Industrial, con sede en Japón, es responsable de la producción y la I+D, mientras que ShibataFenderTeam, con sede en Alemania, se ocupa del diseño y las ventas. Sus oficinas regionales en los Estados Unidos, Europa y Asia cuentan con el apoyo de una amplia red de representantes locales bien establecidos en seis continentes. Crear y proteger el valor es el objetivo esencial al que nuestros productos están destinados. Ofrecemos la gama completa de productos de defensas marinas, desde simples perfiles de caucho hasta sistemas de alta ingeniería, así como accesorios y fijaciones. La excelencia en ingeniería significa que nuestros socios pueden estar seguros de que pueden esperar lo mejor en todas las áreas. Nuestra experiencia nos ha granjeado una reputación como socio de confianza en el mercado internacional de puertos, muelles y vías navegables.

www.sft.group

GRUPO SHIBATAFENDERTEAM.

Sede central:

ShibataFenderTeam AG – Alemania
+49 (0)40 63 86 10 - 170
contact-germany@shibata-fender.team



ShibataFenderTeam Inc. – Estados Unidos
+1 (571) 281 - 3770
contact-americas@shibata-fender.team

ShibataFenderTeam Sdn. Bhd. – Malasia
+60 (0)3 5545 9215
contact-malaysia@shibata-fender.team

ShibataFenderTeam Spain SLU – España
+34 960 550 400
contact-spain@shibata-fender.team

ShibataFenderTeam B. V. – Países Bajos
+31 (0)497 749 - 260
contact-netherlands@shibata-fender.team

Editado por ShibataFenderTeam AG. Todos los derechos reservados. 05/2021;
Diseño: wn8.de