

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS**

**FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**

**CENTRO DE ESTUDIO DE QUÍMICA APLICADA (CEQA)**



## **MONOGRAFÍA**

# **Aspectos básicos para el desarrollo de formulaciones elastoméricas**

**Blanca Rosa Cruz Cal**

**Ricardo Alfonso Blanco**

**Belkis Fabián Guerra Valdés**

Edición: Miriam Artiles Castro

Corrección: Merly López Delgado

Blanca Rosa Cruz Cal, Ricardo Alfonso Blanco, Belkis Fabien Guerra Valdés, 2019

Editorial Feijóo, 2019

ISBN: 978-959-312-400-3

Arbitrada por pares académicos



Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

## **RESUMEN**

El presente trabajo brinda los aspectos fundamentales sobre el tema “Desarrollo de formulaciones elastoméricas”. Es una recopilación de los aspectos a tener en cuenta para desarrollar formulaciones más seguras. Para eso es necesario seleccionar un caucho base adecuado a las exigencias que requiera el material, escoger los tipos de aditivos a utilizar en la mezcla elastomérica, conocer las medidas de seguridad en el manejo de las sustancias involucradas. Además, se particulariza en los diseños de mezcla que pueden ser utilizados para caracterizar las formulaciones a través de distintos tipos de ensayos. Finalmente se aborda el tema de riesgo desde el punto de vista teórico ejemplificando con un análisis de peligrosidad de las sustancias de una formulación determinada y un análisis de peligrosidad del proceso.

**Palabras clave:** caucho, aditivos, formulaciones, mezclas y riesgos

**TITLE:** Basic aspects for the development of elastomeric formulations

## **SUMMARY**

The present work provides the fundamental aspects on the subject: "Development of elastomeric formulations". It is a compilation of the aspects to take into account to develop safer formulations. For that, it is necessary to select a base rubber appropriate to the requirements that the material requires, choose the types of additives to be used in the elastomeric mixture, know the safety measures in the handling of the substances involved. In addition, it specializes in mixing designs that can be used to characterize formulations through different types of tests. Finally, the issue of risk is approached from the theoretical point of view, exemplifying with a hazard analysis of the substances of a given formulation and a hazard analysis of the process.

**Keywords:** rubber, additives, formulations, mixtures and risk

## Índice

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción                                                                              | 5  |
| Capítulo I. Características generales de los elastómeros                                  |    |
| 1.1 Elastómeros y su composición                                                          | 6  |
| 1.2 Aditivos dentro de las formulaciones e influencias sobre las propiedades del material | 11 |
| 1.3 Reacción de vulcanización                                                             | 16 |
| 1.4 Las mezclas                                                                           | 21 |
| 1.4.1 Diseño de mezclas                                                                   | 24 |
| Capítulo II. Ensayos de los vulcanizados                                                  |    |
| 2.1 Propiedades mecánicas de los elastómeros                                              | 27 |
| 2.2 Tipos de ensayos                                                                      | 28 |
| Capítulo III. Aspectos de análisis de riesgo para emplear en el desarrollo de elastómeros |    |
| 3.1 Análisis de riesgos                                                                   | 36 |
| 3.2 Técnicas de identificación de peligros                                                | 40 |
| 3.3 Métodos de identificación de peligros                                                 | 42 |
| 3.4 Ejemplo análisis de peligrosidad de las sustancias                                    | 44 |
| 3.5 Ejemplo de análisis de peligrosidad del proceso                                       | 49 |
| Conclusiones                                                                              | 54 |
| Bibliografía                                                                              | 58 |
| Glosario                                                                                  | 68 |

## INTRODUCCIÓN

La historia del caucho es vieja, se dice que los mayas y otros aborígenes americanos extraían el látex de los árboles de *Hevea brasiliensis* y lo transformaban en pelotas. Luego aparece la venta de cubos de caucho natural como goma de borrar, lo que constituyó su primera aplicación que se le dio. Posteriormente, al descubrirse el proceso de la vulcanización se abrió la gama de aplicaciones hasta hoy en día.

Los elastómeros son materiales poliméricos nombrados también como cauchos o gomas por algunos especialistas. En la actualidad son muy demandados por su diversidad de aplicaciones en las diferentes ramas industriales, ejemplo: química, electrónica, eléctrica farmacéutica, mecánica, entre otras.

Para desarrollar formulaciones elastoméricas es necesario seleccionar un caucho base adecuado a las exigencias que requiera el material, escoger los tipos de aditivos a utilizar en la mezcla y conocer las medidas de seguridad en el manejo de las sustancias involucradas.

Los diseños de experimentos para mezclas es la herramienta que permite planificar, organizar y desarrollar el trabajo experimental. Luego se hace la caracterización a través de distintos tipos de ensayos que son los que nos brindan la información para la evaluación finalmente.

El objetivo de este trabajo es brindar una recopilación de los aspectos básicos del tema “Desarrollo de formulaciones elastoméricas”, para todas aquellas personas interesadas.

## **Capítulo I. Características generales de los elastómeros.**

### **1.1 Elastómeros y su composición.**

En el texto *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Askeland, 1998) incluye a los polímeros dentro de la gama de los diferentes materiales. Los polímeros se definen como: Grupos de materiales normalmente obtenidos al unir moléculas orgánicas en cadenas de redes moleculares gigantescas.

Ellos se clasifican según su comportamiento termomecánico en:

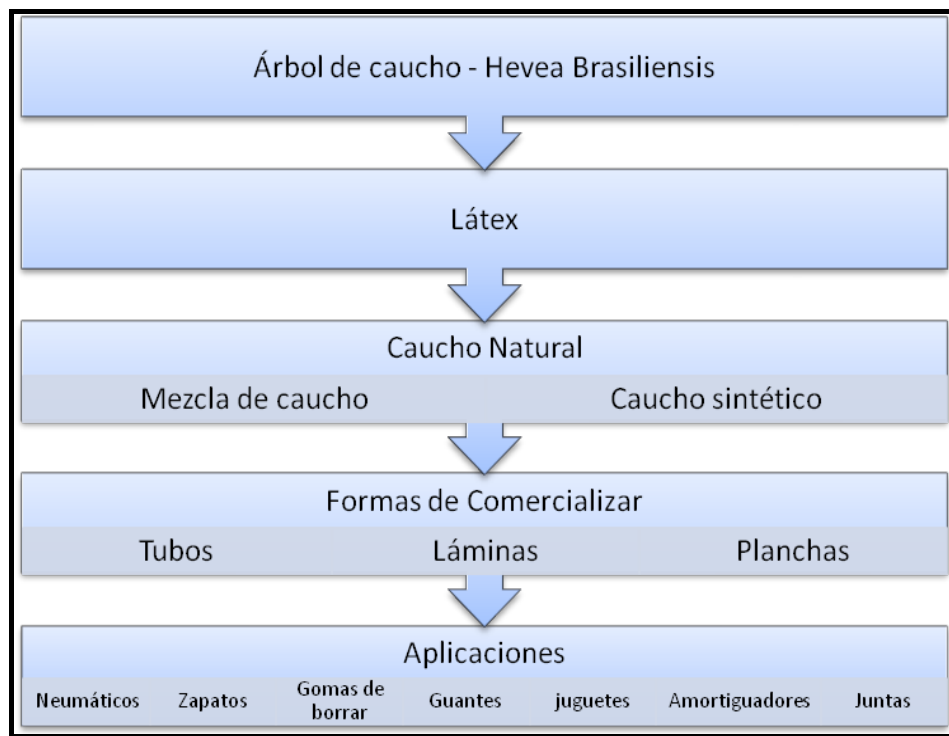
- Termoplástico: Se puede recalentar y volver a fundir varias veces.
- Termoestable: Se caracteriza por una estructura de red muy resistente.
- Elastómeros: Polímero que posee una estructura de cadena altamente retorcida y parcialmente con enlaces cruzados, lo que le permite tener una deformación elástica excepcional.

El caucho es una sustancia natural o sintética, caracterizada por su alto grado de elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex que se encuentra en árboles productores de caucho (Botasso et al., 2008). Los cauchos sintéticos se basan en la polimerización del butadieno o de su homólogo (isopreno) o derivado (cloropreno) que tiene la misma estructura (García, 1992). Ejemplo: Butadieno estireno (SBR), Butadieno acrilonitrilo (NBR), Silicona (PMQ-PVMQ) y Neopreno (CR), etc.

Los términos caucho y elastómeros son usados indistintamente por los especialistas. Es decir, un elastómero está definido en el *Manual Básico del Caucho para el diseño o selección de artículo de caucho*, como: polímero vulcanizado que es capaz de recuperar su forma inicial después de haber experimentado deformaciones considerables bajo la acción de fuerzas externas y de temperaturas de trabajo elevadas (Ferré, 2000).

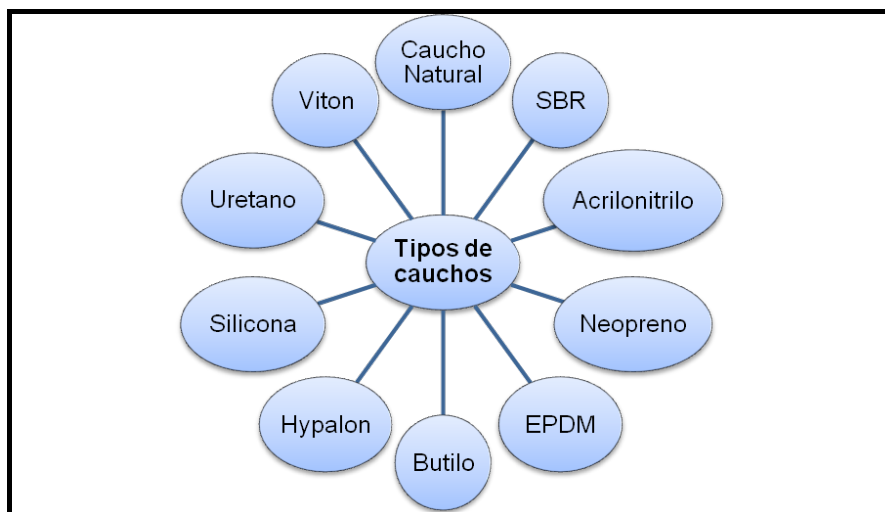
El surgimiento del caucho natural y de los múltiples elastómeros desarrollados hasta la actualidad permiten una gran gama de aplicaciones (ver figuras 1.1 y 1.2), aprovechando las diferentes propiedades físico-mecánicas y químicas que pueden ser obtenidas, como

son: la resistencia al desgarro, al desgaste, al calor, a los aceites, a la tracción y al envejecimiento; además del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, entre muchas más. Dichas propiedades en muchas ocasiones responden a las solicitudes que se presentan en los sectores productivos de la industria mecánica, química, electrónica, entre otras. (Cal et al., 2015).



**Fig. 1.1. Estructura de la cadena del caucho**

Un aspecto importante a considerar es el envejecimiento y deterioro irreversible debido a la acción conjunta de diversos factores físico-químicos y atmosféricos que sufren los elastómeros con el tiempo, lo que trae consigo las pérdidas de sus propiedades físico-mecánicas.



**Fig. 1.2. Nombres usuales de caucho de gran trascendencia**

Según (Ferré, 2000), el caucho sigue siendo insustituible para la fabricación de aquellas piezas que requieran de elevadas solicitudes mecánicas y en las que la elasticidad y/o la impermeabilidad sean requisitos básicos, dentro de una muy amplia gama de temperaturas de trabajo. Esto quiere decir que cada día los elastómeros tendrán más aplicación por sus propiedades técnicas tan variables. Una muestra de esto se puede ver en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Tipos de cauchos y sus aplicaciones**

| Designación                                  | Nombre químico                                                                                                                                                                                                                                      | Designación ASTM 0-1418 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>Caucho Natural | Polibutadieno                                                                                                                                                                                                                                       | NR                      |
| <b>Propiedades</b>                           | Excelentes propiedades mecánicas: tracción, flexión y compresión. Excelente aislante eléctrico, muy buena resistencia a los ácidos diluidos y detergentes. Buena adhesión a tejidos y metales.                                                      |                         |
| <b>Aplicaciones</b>                          | Todos los sectores en que se emplean elastómeros, pelotas de golf y especialmente en neumáticos.                                                                                                                                                    |                         |
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>SBR            | Estireno-Butadieno                                                                                                                                                                                                                                  | SBR                     |
| <b>Propiedades</b>                           | Muy buenas propiedades mecánicas. Mayor resistencia al desgaste. Resistente al envejecimiento por calor y oxidación. Buena resistencia a los ácidos diluidos. Absorben disolventes orgánicos como el aceite y el combustible y por ello se hinchan. |                         |
| <b>Aplicaciones</b>                          | Llantas de neumáticos                                                                                                                                                                                                                               |                         |

|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>Acrilonitrilo | Butadieno acrilonitrilo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | NBR      |
| <b>Propiedades</b>                          | Muy buenas propiedades mecánicas. Buena resistencia a la flexión. Adhesión a los metales. Temperatura de trabajo mayor de 120 °C. Excelente resistencia a grasas y aceites, así como hidrocarburos alifáticos. Escasa resistencia al ozono. No resisten grasa azufradas. Baja resistencia a la llama y baja permeabilidad a los gases.                                                                                                           |          |
| <b>Aplicaciones</b>                         | Es utilizado en la producción de guantes (no de látex) para la industria médica, correas de transmisiones automotrices, mangueras, juntas mecánicas, sellos de aceite, bandas transportadoras, suelas de zapatos, equipos de perforación de pozos petroleros, etc.<br>A veces es empleado en la fabricación de adhesivos y como fijador de pigmentos.<br>Se utiliza en aplicaciones que requieran una alta resistencia a aceites y combustibles. |          |
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>Neopreno      | Policloropreno                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | CR       |
| <b>Propiedades</b>                          | Muy buenas propiedades mecánicas, excelente resistencia al ozono, sol e intemperie. Buena resistencia a los disolventes alifáticos, a los ácidos diluidos y a los detergentes. Ciertas formulaciones son ignífugas, no propagando la llama y auto extinguiéndose cuando cesa la misma. Mala flexibilidad a baja temperatura. Muy caros.                                                                                                          |          |
| <b>Aplicaciones</b>                         | Recubrimientos de cables y alambres, mangueras, abrazaderas industriales y ropa protectora.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>EPDM          | Etileno-propileno                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | EPDM-EPM |
| <b>Propiedades</b>                          | Excelente resistencia a la intemperie, ozono, luz solar y aire. Buena resistencia a la abrasión y poca absorción de agua. Buen aislante eléctrico y amplia resistencia química, ácidos, álcalis, detergentes, acetonas, alcoholes, etc.                                                                                                                                                                                                          |          |
| <b>Aplicaciones</b>                         | Automoción: juntas de puertas, manguitos de radiador.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>BUTILO        | Poliisobutileno                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | IIR      |
| <b>Propiedades</b>                          | Excelente resistencia a la intemperie, a la luz solar al aire y es impermeable al gas. Muy buena resistencia al calor, a los ácidos fluidos y a los detergentes, así como los ácidos fuertes.                                                                                                                                                                                                                                                    |          |
| <b>Aplicaciones</b>                         | Recubrimiento interno de los neumáticos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |          |

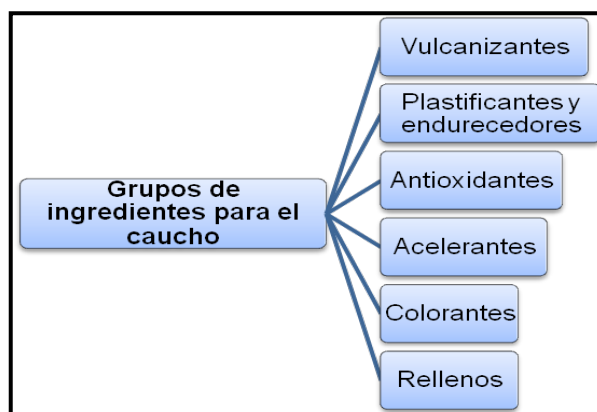
|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>HYPALON  | Polietileno clorosulfonado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | CSM      |
| <b>Propiedades</b>                     | Muy buena resistencia mecánica. Excelente resistencia a los ácidos fuertes y oxidantes, a la intemperie y al ozono. Buena resistencia a los aceites y al calor.                                                                                                                                                                              |          |
| <b>Aplicaciones</b>                    | Se usa en una amplia gama de aplicaciones industriales y automotrices que requieren de un alto desempeño como para cables manguera adhesivos etc.                                                                                                                                                                                            |          |
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>Silicona | Polisilaxano                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | PMQ-PVMQ |
| <b>Propiedades</b>                     | Excelente resistencia a la intemperie, ozono, aire, luz, calor. Muy buenas propiedades dieléctricas, resistente a las grasas y aceites, ácidos, álcalis y detergentes. Resistente a altas temperaturas. Pueden ser usados dentro de un amplio rango de temperaturas (-100 a 250 °C).                                                         |          |
| <b>Aplicaciones</b>                    | Sellado, juntas de materiales, aislantes eléctricos.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>VITON    | Hidrocarburo fluorado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | FKM      |
| <b>Propiedades</b>                     | Muy buena resistencia mecánica, a la abrasión y al envejecimiento. Posee una excelente estabilidad térmica a elevadas temperaturas. Buena resistencia al calor y la llama. Excelente resistencia a los derivados del petróleo, disolventes alifáticos, aromáticos y cloros, ácidos diluidos, detergentes, ácidos fuertes y ácidos oxidantes. |          |
| <b>Aplicaciones</b>                    | Fabricación de equipo de buceo, mangueras para tuberías etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |
| <b><u>Nombre usual</u></b><br>URETANO  | Poliuretano                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | AU-EU    |
| <b>Propiedades</b>                     | Excelentes características mecánicas especialmente abrasión y desgarró.                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |
| <b>Aplicaciones</b>                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          |

Los elastómeros son unos de los materiales de gran interés industrial debido a sus propiedades únicas. Prueba de ello es que más de 40 000 artículos son fabricados en base a este material, así lo plantea (Valenín, 2013).

## 1.2 Aditivos dentro de las formulaciones e influencias sobre las propiedades del material

Todas aquellas sustancias que se le añaden al caucho para obtener una nueva formulación se conoce como aditivo los que atendiendo al tipo y proporción en que se utilicen, le aportarán al material determinadas propiedades físico-mecánicas. Estos compuestos están clasificados según el papel, así como su efecto sobre el caucho base.

En su *Tratado moderno de las industrias del caucho* (Cárcer, 1989) define los ingredientes de las formulaciones de goma, por la similitud de acción de muchos de ellos, o su comportamiento y forma de actuar en seis grupos principales los cuales se muestran en la figura 1.3. Pero existen muchos más autores que comparten este criterio como son:



(Malmierca, 2013), (Manosalvas, 2011), (Cabrera, 2004), (Berta, 1986), (Ishimoto et al., 1984), (García, 1991).

***Fig.1.3. Grupos de ingredientes para el caucho***

*Vulcanizantes*, son productos que forman los enlaces (comúnmente llamados "puentes") entre las cadenas poliméricas del hule. Este proceso de vulcanización modifica radicalmente las propiedades del hule: incrementa su viscosidad, dureza, propiedades tensiles, resistencia a la abrasión, etc. (Comercial Elastomérica, 2008).

Los más empleados son el azufre, donadores de azufre (4,4'-ditiomorfolina), como son los sulfuros de tiuramio, tetrasulfuros de tiuramio, peróxidos y algunos óxidos metálicos (óxido magnesio, óxido cinc, óxido y sales de plomo). En la página (QuimiNet, 2015) se

refiere al compuesto azufre como principal agente vulcanizante. Cuando se emplean el selenio y el telurio se hace con una elevada proporción de azufre.

*Plastificantes*, son compuestos orgánicos de bajo peso molecular que reducen la rigidez del polímero y ayudan a mejorar el proceso tecnológico, pero reducen las propiedades mecánicas, solo se justifica en dosis de 0, 5 a 5 (p.p.c.c). Un plastificante forma uniones intermoleculares con las moléculas del polímero separándolas, suministrando a las cadenas poliméricas mayor espacio para moverse, dando como resultado una masa más fácilmente deformable (Maier, 2012).

Según (Carbonell, 2009), su función es aumentar la plasticidad de la mezcla y disminuir su viscosidad para reducir la energía del trabajo mecánico del proceso de mezcla, mejorando la dispersión de las cargas. Las sustancias que ejercen efecto plastificante son los aceites vegetales o minerales, ceras parafinas, breas, alquitranes, resinas, el ácido esteárico, la brea de pino y los asfaltos naturales. Ejemplo de plastificantes: DOP (Ftalato de dioctilo), DBP (dibutil ftalato).

García (1991), expresa que se deben tener en cuenta tres propiedades al escoger un plastificante.

- Facilidad de mezcla, es decir, que permita el empleo de bajas temperaturas en el cilindro. Para ello los más convenientes son los ésteres, hidrocarburos aromáticos, etc.
- Que faciliten el proceso de fabricación de los artículos: calandrado, extruido, etc. Se necesitan esencialmente lubricantes tales como ceras, aceites vegetales o algunos derivados del petróleo.
- Facilidad de cohesión. Para este uso es aconsejable el empleo de resinas.

*Endurecedores*, promueven o regulan la reacción de curado de resinas o adhesivos, tomando parte en la reacción. (NC ISO 472, 2003)

*Antioxidantes*, sustancias utilizadas para retardar la degradación causada por oxidación (NC ISO 472, 2003); ejemplos: quinolinas, fenilnaftilaminas, parafenilendiaminas,

difenilaminas, fenolatos, vinilfenoles, productos de condensación cetona-amina. DOD, DNP, PBN, PAN, ácido esteárico.

*Acelerantes*, aceleran notablemente la reacción entre el caucho y el azufre y permiten reducir consecuentemente el tiempo de vulcanización necesario, protegen el caucho acabado del envejecimiento por la acción de la luz y del aire. Aumentan la velocidad de reacción del proceso de vulcanización, y como consecuencia de su uso, las temperaturas de vulcanización disminuyen en demasía (S.A, 2015).

Un acelerante debe tener según (Salvador and W, 2003), una elevada velocidad de curado, eficiencia y un alto tiempo de quemado para encontrar buena aceptación en el mercado. Tradicionalmente los aceleradores de la vulcanización se clasificaban como: ultrarrápidos, muy rápidos, rápidos, medianamente rápidos y lentos. Semejante clasificación propone (Romero, 2002) basado en los criterios de (Morton, 1977).

Los aceleradores de la vulcanización según (QuimiNet, 2015) juegan un papel importante debido a:

- El caucho natural solo con azufre requiere de tiempos largos y temperaturas altas para su vulcanización.
- Las propiedades de los compuestos vulcanizados no son las mejores que se pudieran obtener, por lo que los aceleradores de vulcanización nos dan menores tiempos y temperaturas de vulcanización.
- La cantidad de azufre necesaria para la vulcanización se reduce y las propiedades se mejoran.

Los agentes aceleradores de la vulcanización que se empleaban en un principio eran solamente óxidos metálicos como el blanco de plomo y la cal. Ejemplo de acelerantes utilizados en la actualidad: MBT (2-merkaptobenzotiazol), MBTS (disulfuro de benzotiacilo, TMTD (sulfuro de thiuram) y DPG (difenilguadina).

*Colorantes*, son compuestos coloreados que se unen a través de fuerzas intermoleculares intensas con grupos polares del polímero o reaccionan para formar enlaces covalentes con

grupos funcionales en el polímero. Se emplean en concentraciones muy bajas (0.1 - 0.5 p.p.c.c) (Maier, 2012) .

*Rellenos*, son materiales particulados cuya función es extender el polímero y reducir su costo. La acción de un relleno depende de su naturaleza, del tipo de elastómero y de la cantidad de relleno que se utilice. Los rellenos se pueden dividir en dos clases según (Fred W. Billmeyer, 2004):

*Rellenos inertes*: posibilita que la mezcla se haga más fácil de manejar pero tienen poco efecto sobre las propiedades físicas, ejemplo: arcilla, el blanco España y la banitina (Fred W. Billmeyer, 2004) .

*Rellenos reforzantes*: mejoran las propiedades antes mencionada. El Negro de carbón es el relleno reforzante más sobresaliente tanto para el caucho natural como el sintético.

Se utilizan muchos negros de humo que defieren de su tamaño de partícula, la condición superficial y el grado de aglomeración. Fred W. Billmeyer (2004) plantea que el grado de refuerzo aumenta con el tamaño de partículas decrecientes del negro hasta el límite inferior práctico a que pueden hacerse los negros.

El negro de humo según (Elastómeros, 2011) permite:

- Mayor fluencia a tensión constante por rotura progresiva de las uniones por quimisorción.
- Incremento del volumen en deformación (daño...).
- Reduce la degradación por radiación y por ozono.
- Reduce la absorción de líquido.

Otros compuestos usados como rellenos son:

Ej.:  $\text{CaCO}_3$ , mica, asbestos (incrementan además la resistencia al calor) (Maier, 2012) Negro de carbono, silicatos (mica, caolín), sulfato de bario, lithopón, óxido zinc, estearato zinc, óxido magnesio, óxido titanio, óxido aluminio, grafito y fibra de vidrio. (FT-16-0, 2014).

En la patente (Sandstrom et al., 2006), se apuntan las siguientes adiciones típicas de aditivos, (p.p.c.c) el término se refiere a “partes de material por 100 partes en peso de caucho.” Las resinas si son utilizadas, comprenden alrededor de 0.5 a 10 p.p.c.c, habitualmente se usan de 1 a 5 p.p.c.c. Los aditivos de procesamiento pueden incluir, por ejemplo, aceites de procesamiento aromáticos, nafténicos, y/o parafínicos, de 1 a 50 p.p.c.c. Además, los antioxidantes y antiozonantes de 1 a 5 p.p.c.c. El óxido de zinc comprende de 2 a 5 p.p.c.c. De ácidos grasos que pueden contener ácido esteárico, en caso de que se utilicen, comprenden 0,5 a 5 p.p.c.c. Las ceras en proporciones de 1 a 5 p.p.c.c, generalmente se utilizan ceras microcristalinas. Los agentes peptizantes por ejemplo: pentaclorotiofenos y dibenzamidodifenildisulfuro, comprenden 0.1 a 1 p.p.c.c. El azufre como agente vulcanizante se usa en cantidades que van de 0.5 a 4 p.p.c.c, siendo a veces preferido el rango de 0.5 a 2.5 p.p.c.c. Cuando se utiliza las combinaciones de un acelerador primario y uno secundario, las proporciones del acelerador secundario serán de 0,05 a 3 p.p.c.c. para activar y mejorar las propiedades del vulcanizado.

Es usual añadir uno o más aditivos y cargas a la mezcla de caucho y copolímero, así lo plantea (Jean and Pierre, 1990) en su patente. Ejemplos de cantidades típicas (en partes en peso basado en 100 partes en peso de caucho más copolímero) son negro de carbono (por ejemplo GPF, HAF) 40 a 70 por ejemplo 50, aceite (por ejemplo aceite nafténico Flexon 580 o aceite parafínico Flexon 876 o aceite aromático Dutrex R) 5 a 10 por ejemplo 7 a 8; ácido esteárico, 0,5 a 1,5, por ejemplo 1,0. Los componentes del sistema de curado/vulcanización, añadidos generalmente más tarde a una temperatura inactiva baja, pueden incluir óxido de cinc 1 a 10 por ejemplo 3; azufre 0,1 a 1,0 por ejemplo 0,5; MBTS (disulfuro de mercapto-benzo-tiazilo) 0,5 a 2,0, por ejemplo 1,5 y estearato de cinc, 1,0 a 5,0 por ejemplo 1,5. El óxido de cinc, azufre, MBTS y estearato de cinc constituyen solo uno de los sistemas de vulcanización que pueden usarse en la práctica. Son posibles otras variaciones del sistema de vulcanización.

El ZnO que siempre se añade a las formulaciones con azufre también actuará como agente de entrecruzamiento, de tal manera que su proporción en la mezcla tendrá más repercusión en las propiedades finales de la que tiene en la vulcanización de un caucho sin carboxilar (Ibarra and Alzorriz, 2001).

En la patente (Nohara et al., 2006), se define la influencia de antioxidantes convencionales basados en difenildiamina, como los que utilizan el fenol en el envejecimiento, y se plantea que la óptima cantidad a usar de estos compuestos tiene que ser ajustada, porque al ser incrementada el efecto de evitación del envejecimiento aumenta correspondientemente cuando la cantidad de mezcla es pequeña, pero cuando dichos antioxidantes son usados en gran cantidad, se reduce el incremento del efecto.

### **1.3 Reacción de vulcanización**

(Fred W. Billmeyer, 2004), define la vulcanización como un proceso por el cual se introduce una red de enlaces cruzados en un elastómero, y supone que a pesar de que Goodyear en 1839 descubrió la química de la vulcanización en la actualidad no es bien comprendida por su complejidad, no obstante consideran que el efecto es de transformar el elastómero desde una masa termoplástica débil sin propiedades mecánicas útiles en un caucho fuerte, elástico y tenaz.

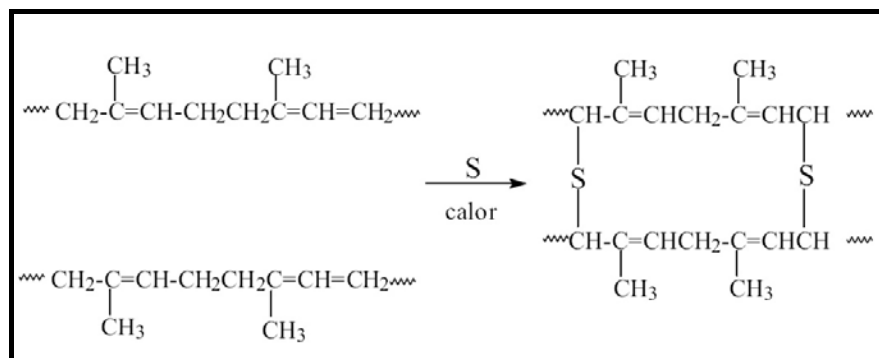
Los cauchos vulcanizados en ocasiones no exhiben las mejores propiedades en cuanto a: resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, resistencia al desgarre y rigidez. Estas propiedades se pueden mejorar con ciertos rellenos mencionados con anterioridad antes de vulcanizar.

Los elastómeros son vulcanizados para mejorar sus propiedades, añadiéndole azufre u otro agente reticulante y sometiendo la mezcla a temperatura, normalmente superior a 150 °C. De este modo se obtiene, una gran resistencia a la tracción y a la abrasión, manteniendo su elasticidad con independencia de la temperatura (Ferré, 2000).

(Sampietro and Rescia, 1997), plantean que el caucho vulcanizado tiene mayor grado de elasticidad y mayor resistencia a los cambios de temperatura que el no vulcanizado; además es impermeable a los gases y resistente a la abrasión, acción química, calor y electricidad. También posee un alto coeficiente de rozamiento en superficies secas y un bajo coeficiente de rozamiento en superficies mojadas por agua.

Según (Castaño, 2010) el proceso de vulcanización es un proceso químico que requiere de un incremento de la temperatura y de un aumento de la presión en la mayoría de los casos. Los medios de transmisión del calor serían la conducción, convección y radiación. La cantidad de calor transmitida depende de: la superficie, la conductividad térmica, del gradiente de temperatura, del coeficiente de transferencia de calor y del tiempo de permanencia.

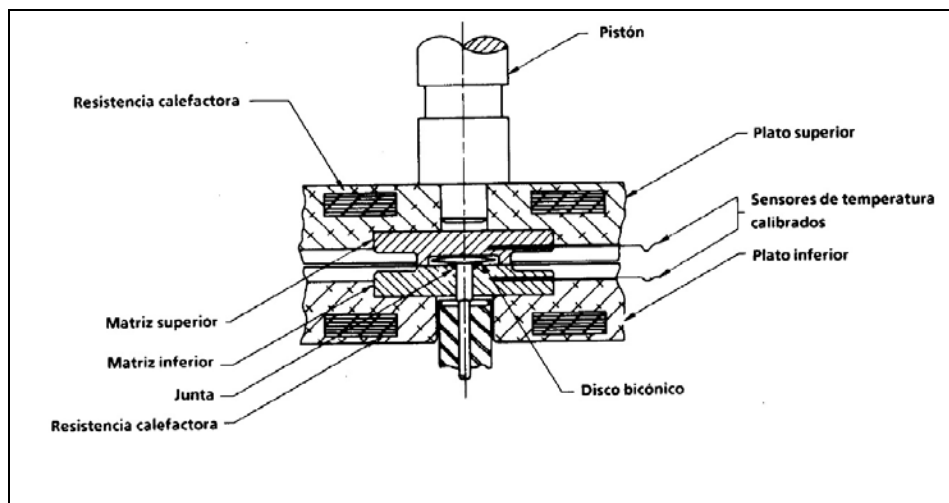
La optimización de un sistema de vulcanización implica según (Castaño, 2010): la seguridad en el proceso, el tiempo de cura y temperatura, el tipo de vulcanización y el logro de unas propiedades tecnológicas necesarias.



**Fig.1.4. Proceso de vulcanización. (Maier, 2012)**

Existe mucha información empírica sobre la naturaleza de la vulcanización con azufre, figura 1.4; sin embargo, hoy la naturaleza del proceso no es completamente comprendida. Las técnicas analíticas comúnmente aplicadas tales como resonancia magnética nuclear (RMN), espectrometría de masas (MS), infrarrojo (IR) y espectroscopia presentan siempre dificultades debido generalmente a que no se puede discriminar entre las diferentes reacciones que tienen lugar al mismo tiempo. Las técnicas más utilizadas para estudiar la cinética de vulcanización del caucho incluyen calorimetría diferencial de barrido y reómetro de disco oscilante (Deanin and Manion, 1999) citado en (Cápiro, 2012).

En la figura 1.5 se muestra un esquema del conjunto de reómetro tomado de [NC-ISO 3417:2002]. Los moldes utilizados en la vulcanización presentan un comportamiento similar al de los reactores a templa, siendo la temperatura de la superficie de intercambio el parámetro determinante de la duración del ciclo; de ahí la necesidad de su control (Suárez, 1983).



**Fig.1.5. Esquema de un conjunto de reómetro [NC-ISO 3417:2002]**

La curva de vulcanización es la representación del par de torsión que se le opone a la oscilación en función del tiempo. El par de torsión depende de la rigidez de la mezcla de caucho.

De las curvas registradas se pueden obtener los siguientes parámetros: ( $M_L$ ) par mínimo, ( $t_{sx}$ ) tiempo de prevulcanización, ( $t_{c(y)}$ ) tiempo para alcanzar un tanto por ciento predeterminado de la vulcanización completa, ( $M_{HF}$ ) par de meseta (“plateau”), ( $M_{HR}$ ) par máximo (curva de reversión), o ( $M_H$ ) valor más alto del par, alcanzado en una curva donde no se aprecia valor máximo o plateau después del período de tiempo especificado (NC-ISO 3417:2002).

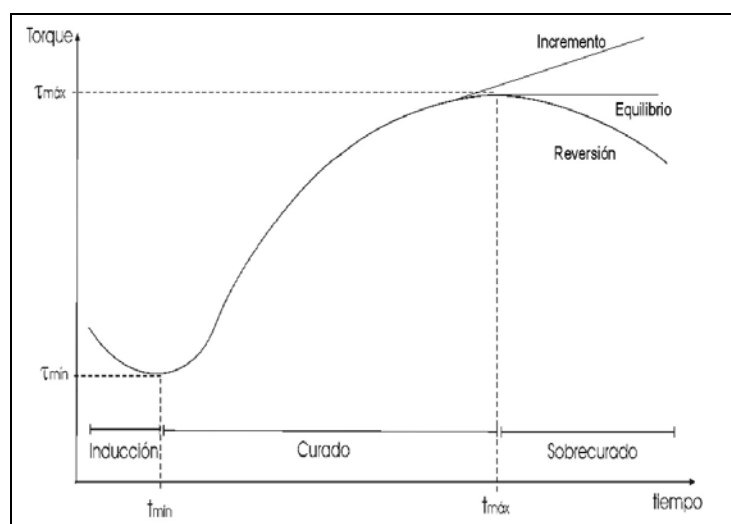
Según plantea (Marcela, 2012) durante el proceso de vulcanización existen parámetros críticos a tener en cuenta: el tiempo que demora en comenzar la vulcanización, la velocidad a la cual esta se lleva a cabo y en cuánto tiempo lo hace. Dentro de los parámetros obtenidos existen dos muy característicos del ensayo: torque mínimo y torque máximo, con el cálculo de la variación de ambos parámetros se puede obtener una idea indirecta del grado de reticulación logrado.

*Torque mínimo (par mínimo):* El mismo se alcanza luego de un tiempo  $t_{mín}$  de iniciado el ensayo e indica el momento a partir del cual comienzan a generarse los puentes. La

disminución del torque a tiempos menores se debe a la variación de la viscosidad de la muestra al someterla a temperatura.

*Torque máximo (par máximo):* Es proporcional a la rigidez del material vulcanizado, y es alcanzado a un tiempo  $t_{m\acute{a}x}$ . En dicho tiempo la estructura de reticulaci3n es la 3ptima a efectos de elasticidad del material.

En la Figura 1.6 se indican las tres fases principales del proceso de vulcanizaci3n: inducci3n, curado y sobrecurado.



**Fig.1.6. Fases principales del proceso de vulcanizaci3n Tomada de (Mansilla, 2012)**

*Inducci3n*, es la fase donde b3sicamente se producen las reacciones qu3micas que involucran al acelerante, y durante la cual se le da la forma deseada a la muestra.

*El per3odo de curado*, fase en la cual se produce la estructura de reticulaci3n de las macromol3culas del elast3mero y se consumen el acelerador y el azufre (en el caso de vulcanizaci3n por azufre).

*El sobrecurado*, donde se pueden encontrar los siguientes comportamientos seg3n el compuesto: una reversi3n en la cual la red madura y luego hay un progresivo deterioro, un incremento o se puede generar un equilibrio (Mansilla, 2012).

Para describir el comportamiento de la cin3tica de curado se han desarrollado varios modelos agrupados en dos categor3as. Est3n los modelos cin3ticos mec3nicos y los

modelos empíricos o fenomenológicos. El modelo mecánico es la descripción de las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de curado, cuantificando el balance de las especies químicas involucradas que pueden ser muy amplias, y llegando a relaciones matemáticas que conectan la velocidad de la reacción con el tiempo y temperatura de curado (Mansilla, 2012); razón por la cual se considera al modelo empírico como el método más práctico.

Kamal y Sourour citados en (Mansilla, 2012) propusieron un modelo en 1973 para cura isotérmica utilizada con éxito para describir el comportamiento de las curvas torque vs tiempo ( $t$ ) en numerosos compuestos elastoméricos donde el estado de cura o avance de la reacción es ( $\theta$ ). La expresión (1.1) se utiliza para normalizar las curvas reométricas y muchos autores comparten el mismo criterio ejemplo: (Yepes, 2014), (Khang and Ariff, 2011, Malmierca, 2013), (Albano et al., 2011), (A.J.Marzocca et al., 2012), (M.A.Mansilla et al., 2007), (Nampitch and Buakaew, 2006) (Marzoccaa, 2003),

$$\theta = \frac{M_t - M_L}{M_H - M_L} \quad (1.1)$$

$M_t$ : es el torque a tiempo  $t$ ,

$M_L$ : torque mínimo

$M_H$ : torque máximo.

En general se ha llegado a la conclusión de que la vulcanización del caucho con azufre en presencia de un acelerante de naturaleza orgánica es un proceso extremadamente complicado desde el punto de vista químico. El mecanismo de vulcanización y su aceleración dependen de la estructura del caucho, tipo y concentración de acelerante y activadores (óxido de cinc y ácido graso), así como de la termodinámica de cada reacción. La química de la vulcanización es compleja y los entrecruzamientos resultantes pueden ser mono-, di-, tri- o poli-sulfídicos, con una proporción que está determinada entre otros factores por el sistema de vulcanización, el tiempo de curado y la temperatura (L. González et al., 2006).

La relación azufre/acelerante es particularmente importante en la determinación del entrecruzamiento y determina la clasificación de los sistemas de vulcanización. En la tabla 1.2 se puede observar los diferentes sistemas y las relaciones. (Castaño, 2010, Carbonell, 2009, Yepes, 2014)

***Tabla 1.2 Diferentes sistemas de vulcanización***

| Sistemas de vulcanización | Azufre (p.p.c.c) | Acelerante (p.p.c.c) |
|---------------------------|------------------|----------------------|
| Convencional              | 2 - 3.5          | 0.3 – 1              |
| Semieicientes             | 1 - 2            | 1 - 1.25             |
| Eficientes                | 0.25 – 0.7       | 2.5 - 5              |

(Hert and Alex, 2001), plantean que la cinética medida con la ayuda de un reómetro oscilante sería tal que el tiempo característico de vulcanización a 90 %,  $t_{90}$ , no sobrepase de 15 minutos y ventajosamente estará comprendido entre 5 y 10 minutos. Por otra parte, se ha encontrado que el tiempo de inicio de vulcanización (o tiempo de fraguado), correspondiente a un aumento del par de 0,2 N.m es un factor importante para obtener un material que presente buenas características. Así, es ventajoso que el aumento de par citado se alcance en un tiempo superior o igual a 4 minutos a la temperatura de moldeo y preferentemente entre 4 y 6 minutos.

#### **1.4 Las mezclas**

Las mezclas de polímeros con aditivos y modificadores pueden llevarse a cabo mediante la adición de aditivos, uno por uno, mediante el uso de sistemas de aditivos, o por el empleo de mezclas maestras. Los sistemas de aditivos son cuidadosamente ajustados para evitar efectos antagónicos. Las mezclas maestras son concentrados de aditivos en polímeros; facilitando la dosificación de pequeñas cantidades de aditivos. Se pueden mezclar adyuvantes en polvo y líquidos con polímeros en polvos y líquidos en mezcladoras de paletas, molinos de bolas, mezcladores de turbo, y dispositivos similares; la mezcla requiere energías de 35-100 kJ / kg. Son necesarias energías mucho más altas para el trabajo con adyuvantes particulados en termoplásticos (700 kJ / kg) y cauchos (1300 kJ / kg), en estos casos se requieren maquinaria pesada, tales como amasadoras, extrusoras de doble tornillo, mezcladores Banbury, y molinos de rodillos (Cápiro, 2012). Las propiedades de los compuestos dependen fuertemente de las condiciones del proceso de producción, por lo que a menudo se llevan a cabo por empresas especializadas.

Existen varios factores que intervienen en la Elaboración de las mezclas de caucho:

- 1- Los ingredientes necesarios deben estar en concordancia con las normas nacionales o internacionales. (*ISO 2393: 1994, IDT*) (*NC346: 2004*)
- 2- Preparación de los materiales.
  - Mezcla: hay que tener en cuenta la cantidad de gramos para el mezclador que se está utilizando multiplicado por la densidad de la mezcla.
  - Tolerancia de pesaje.
- 3- Acondicionamiento del negro de humo.
- 4- Maquinaria de mezclado.
  - Mezclador de cilindros.
  - Mezclador interno.
- 5- Método de mezclado.
  - Método de mezclado en mezclador de cilindro.
  - Método de mezclado en mezclador interno.

Otro de los aspectos importantes a tomar en cuenta durante el mezclado es el ciclo de mezcla, el cual no es más que el tiempo en minutos para incorporar al caucho todos los ingredientes y producir una maestra o compuesto final determinado, la temperatura es el calor medido en grados desarrollado por el efecto mecánico de incorporar los ingredientes al caucho. Ambos están íntimamente relacionados y dependen el uno del otro, así como de la cantidad de rellenos y plastificantes.

La forma en que se mezclen los compuestos depende de la carga de relleno que lleve, así como de las proporciones deseadas de este. Dichas mezclas pueden ser en tres formas diferentes (Cal, 2003, García, 1992):

- Mezcla directa: es usada en compuestos suaves con cargas pequeñas de negro de humo del tipo que desarrolla poca temperatura y también en compuestos con cargas de arcilla como relleno reforzante. Todos los ingredientes son mezclados en un solo paso, quedando el azufre y los acelerantes para ser mezclados al final.
- Mezcla en dos pasos: es la usada en compuestos con carga media de negro de humo por lo general del tipo que generan mucha temperatura; consta de una pesada maestra, la cual lleva caucho, negro de humo, óxido de zinc, los antioxidantes y los plastificantes; por lo

general en esta pesada maestra el ciclo de mezcla es largo y la temperatura muy alta. El segundo paso comprende la maestra, el azufre y los acelerantes; este paso desarrolla poca temperatura y el ciclo es pequeño y el material presenta una mejor plasticidad.

- Mezcla en tres pasos: se recomiendan para cargas altas de negro de humo, por lo que las mismas se mezclan en dos maestras para luego hacer el compuesto final. También se lleva a cabo este tipo de mezcla en compuestos en los cuales el producto final debe poseer una plasticidad adecuada al proceso siendo necesario para ello hacer la maestra, remasticarla en un segundo paso y hacer el compuesto final.

El contenido de algunos ingredientes en la mezcla puede alcanzar el 50 % en peso. La mezcla maestra se presenta en tres formas: sólida, líquida y pastosa. La fabricación de cualquier goma requiere una fórmula básica previa, a continuación, en la tabla 1.3, se ofrece una muestra de ella.

La primera columna indica los elementos de la mezcla (tipos de aditivos presentes en la formulación); la segunda columna los compuestos como tal de la formulación, y la tercera columna las partes en relación al caucho (%) y puede solicitar ingredientes de hasta el doble de peso que el caucho.

***Tabla 1.3 Composición básica de una formulación***  
***Composición básica***

| <b><i>Elementos de la mezcla</i></b> | <b><i>Componentes</i></b> | <b><i>Partes (p.p.c.c)</i></b> |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Caucho base                          |                           | 100                            |
| Cargas                               | Minerales                 | (20-200) %                     |
| Plastificantes                       | Minerales                 | (5-100) %                      |
| Vulcanizantes                        | Azufre                    | (1-12) %                       |
| Antioxidantes                        | Amínicos                  | (1-6) %                        |
| Auxiliares del proceso               |                           | (1-20) %                       |
| Esponjantes                          |                           | (2-15) %                       |

**Ejemplo Mezcla de vulcanización típica según (Fred W. Billmeyer, 2004).**

La formulación que se muestra en la tabla 1.4 se conoce como vulcanizado de goma pura.

**Tabla 1.4 Composición básica de una goma pura**

| <i>Elementos de la mezcla</i> | <i>Partes (p.p.c.c)</i> |
|-------------------------------|-------------------------|
| Caucho base                   | 100                     |
| Azufre                        | 0,25-1,5                |
| Acelerador                    | 0,25-1,5                |
| Activador                     | 1-10                    |
| Antioxidantes                 | 1-5                     |
| Jabón                         | 0-1,5                   |

#### **1.4.1 Diseño de mezclas**

El elastómero actual se ha convertido en un material químicamente complejo por los diversos aditivos que se le pueden añadir, el estudio de una formulación elastomérica requiere la optimización de la mezcla a través del diseño experimental.

De esta manera, un diseño de experimentos representa la planificación detallada de un programa de ensayos, y la elección acertada del mismo permite obtener una mayor cantidad de información a partir del trabajo experimental realizado. Permiten conocer cuál es la mejor combinación en las proporciones de los componentes de una mezcla que otorga el valor mínimo o máximo de una determinada respuesta (Menéndez et al., 2008).

En los últimos tiempos se reconoce a nivel mundial diferentes métodos experimentales y estadísticos (García, 1992), (Pérez et al., 2015), (Cámara et al., 2016), (P.K.Batra and Parsad, revisado 2018) que posibilitan la solución y explicación científica a problemas objeto de estudio, resultando los mismos una vía efectiva y económica en el campo de las investigaciones científicas.

El diseño de experimentos se fundamenta sobre cuatro reglas básicas: (González, 2002), (Cal, 2003), (Corcho, 2004), (González, 2011), (Yepes, 2014).

1. Minimizar los experimentos: siempre el número menor posible de experimentos.
2. Cambiar el valor de los factores de acuerdo con reglas.
3. Utilizar en el procesamiento métodos matemáticos normalizados.
4. Tener una estrategia de trabajo por etapas.

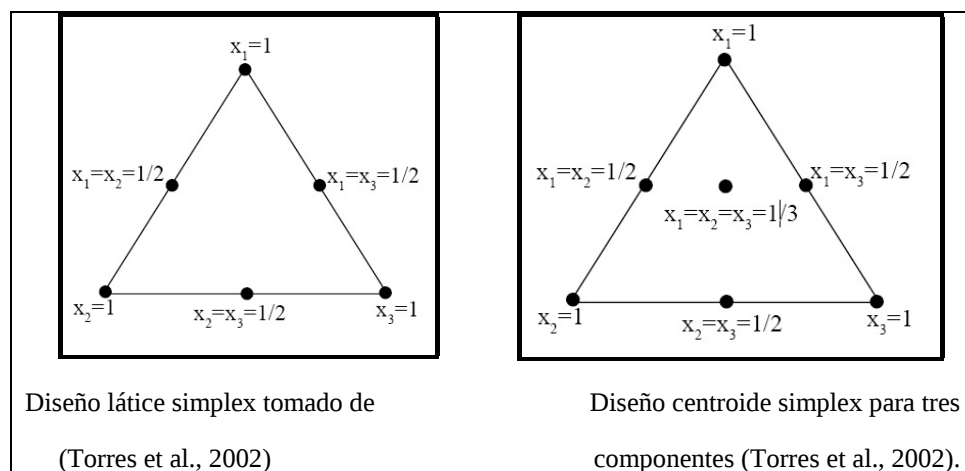
En un diseño de experimentos con mezclas, los factores independientes son proporciones de diferentes componentes de una mezcla que deben sumar 100 %. Hay diseño estándar

como los diseños *Simplex Lattice* y *Simplex Centroid*. Cuando hay restricciones adicionales, tales como valores máximos y mínimos, se usan los diseños de mezclas restringidos o diseños de vértices extremos (Hernández and Reyes, 2007).

Cuando los factores experimentales a ser estudiados son ingredientes o componentes de una mezcla, la función de la respuesta típicamente depende sobre las proporciones relativas de cada componente, no de la cantidad absoluta. Puesto que las proporciones deben sumar una cantidad fija, generalmente un 100 %, los factores no se pueden variar independientemente sobre algún otro. (Inc., 2006)

Tipos de diseños en la figura 1.7 y 1.8 se puede ver la representación y tipos de modelos además en (R.Lazic, 2004).

- Diseño Simplex-Lattice (fueron propuestos inicialmente por Scheffé (1958). Los puntos del diseño están distribuidos uniformemente sobre toda la región simplex. Para  $q$  componentes está asociado a un modelo polinomial de grado  $m$ , éste se denota como un diseño látice simplex (Torres et al., 2002).
- Diseño Simplex-Centroid (consiste de  $2q-1$  puntos, fue propuesto por Scheffé (1963), a diferencia del látice simplex incluye observaciones de mezclas en donde los componentes aparecen en igual proporción) (Torres et al., 2002).
- Diseño de Vértices Extremos: estos diseños pretenden ensayar hasta 12 componentes sobre una o más respuestas, lo cual permite estudiar con mayor profundidad cada variable.



**Fig.1.7. Representación de los puntos según el tipo de diseño.**

Existen cuatro grupos de modelos:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lineal</b><br/> <math display="block">Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3</math> </li> <li>• <b>Cuadrático</b><br/> <math display="block">Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3</math> </li> <li>• <b>Cúbico especial</b><br/> <math display="block">Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3</math> </li> <li>• <b>Cúbico</b><br/> <math display="block">Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \delta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \delta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \delta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)</math> </li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Fig.1.8. Tipos de modelos**

Todos los diseños incluyen estimaciones de modelos lineales y gran cantidad de gráficos para visualizar los resultados.

## **Capítulo II. Ensayos de los vulcanizados**

### **2.1 Propiedades mecánicas de los elastómeros**

En el texto *Ciencias de los polímeros* se plantea que el comportamiento de tensión-deformación de los vulcanizados de goma pura de los distintos elastómeros depende de la estructura molecular, polaridad y cristalizabilidad de los polímeros. (Fred W. Billmeyer, 2004).

En la figura 2.5 se muestran curvas típicas de tensión-deformación del caucho natural sin vulcanizar y vulcanizado.

Según (Fred W. Billmeyer, 2004), el caucho sin vulcanizar experimenta una gran cantidad de acondicionamiento mecánico cuando se expone por primera vez a tensiones de tracción. Al producirse ciclos sucesivos, las variaciones en resistencia al estirado, a la tracción, absorción de energía y la deformación permanente se hacen menores. Este acondicionamiento mecánico no va acompañado por degradación del peso molecular. La degradación ocurre por el peso de molienda del caucho crudo, pasa a reducir su viscosidad de fundido al grado deseado desde antes de la incorporación de rellenos complicándose el proceso por la presencia del oxígeno.

En ciclos sucesivos de ensayo el caucho vulcanizado experimenta un comportamiento similar pero menos extenso en las propiedades tensión-deformación. Finalmente (Fred W. Billmeyer, 2004), plantea que las propiedades mecánicas de los elastómeros depende grandemente de la velocidad del ensayo.

Las propiedades mecánicas dependen de la temperatura, a temperaturas superiores el elastómero puede sufrir un daño permanente y por debajo de la temperatura mínima se puede congelar. Razón por lo que la temperatura ideal de trabajo es la máxima, en la que el elastómero no tiene un envejecimiento prematuro y no tiene pérdida de elasticidad excesiva.

## 2.2 Tipos de ensayos

Los ensayos de laboratorio referentes a los elastómeros pueden ser tan amplios como lo requieran los requisitos del artículo a fabricar. Además, teniendo en cuenta que las mezclas varían en función de la clase y proporción de sus aditivos.

Las razones que justifican los ensayos de laboratorio suelen ser (Ferré, 2000).

- Desarrollo de nuevas mezclas elastoméricas, destinadas a cumplir nuevas exigencias y de requisitos novedosos.
- Control del fabricante de artículos de caucho, según lo aconseje su metodología o exija su Sistema de Gestión de la Calidad.
- El usuario de las piezas de caucho precisa de sus propios controles y validación de las piezas recibidas, acordes con su Sistema de Gestión de la Calidad. No basta solo con la certificación del fabricante.

Del análisis de los trabajos (Cal et al., 2015), (Velásquez and Giraldo, 2014), (Malmierca, 2013), (García, 1990, García, 1992, García, 1993, Fernández, 2003, González, 2002, González, 2011, Corcho, 2004, Torres, 2010, Sánchez, 1999, Palmero, 2009, Manosalvas, 2011, Cal et al., 2012,), (Ibarra and Alzorritz, 2001), (Heideman et al., 2005), (A. Das et al., 2005), (L.González et al., 2006), (Grewatta and Bidet, 2006), (Mosca et al., 2009), (Rojas, 2007), (Cabrera, 2004), (Cartaya, 2004), (Jiorings, Revisado 2018) proponemos como propiedades a evaluar: peso específico ( $\gamma$ ), Shore A (Sh A), resistencia a la tracción ( $\sigma_r$ ), módulo de elasticidad (E), Coeficiente de Poisson ( $\mu$ ), resistencia al desgarrar (RD), resistencia al desgaste volumétrico relativo ( $W_{vr}$ ), resistencia al envejecimiento al aire ( $K_{et}$ ), y la resistencia a la fatiga (NC).

Sin embargo, la mayoría de los fabricantes cuando brindan las especificaciones del producto solo hacen referencia a la dureza. Para determinar estas propiedades existe ensayo estandarizado en diferentes normas. Ejemplo:

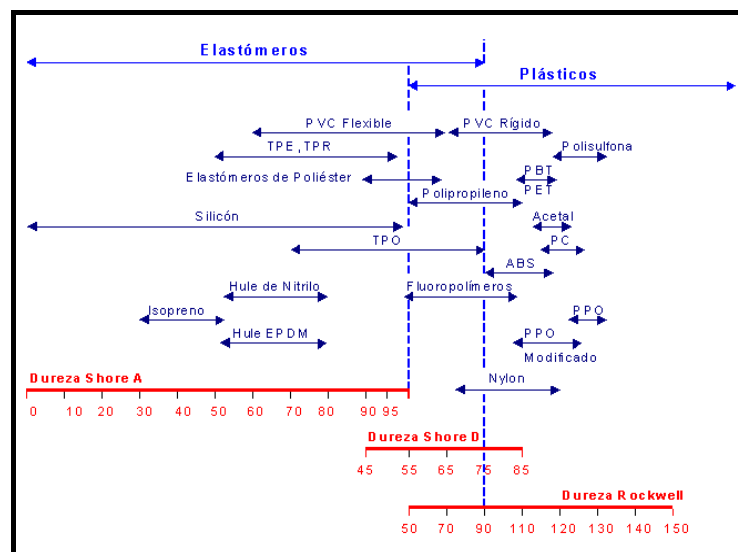
Ensayo de Dureza: está basado en la resistencia del material a la penetración; es de gran importancia ya que la resistencia mecánica guarda estrecha relación con la dureza o

resistencia a la penetración. Este es un ensayo simple rápido y en general no afecta a la pieza y no hay necesidad de elaborar probetas de forma especial.

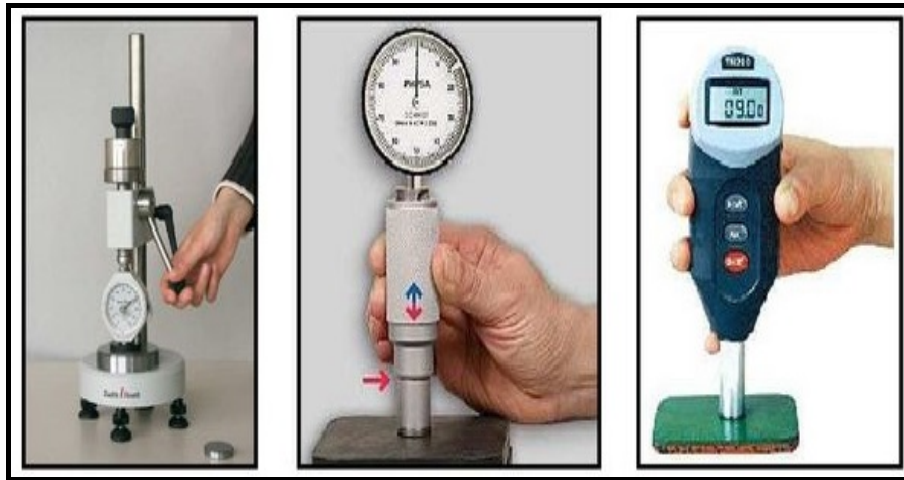
Es frecuente encontrar datos de dureza expresados en diferentes escalas (por ejemplo: Shore A, Shore D, Rockwell), lo que en ocasiones dificulta la comparación rápida entre dos materiales. A continuación, en la figura 9 se muestra la relación que existe entre las escalas de dureza y los valores típicos de dureza de varios materiales comunes.

Factores que afectan la dureza según (Elastómeros, 2011):

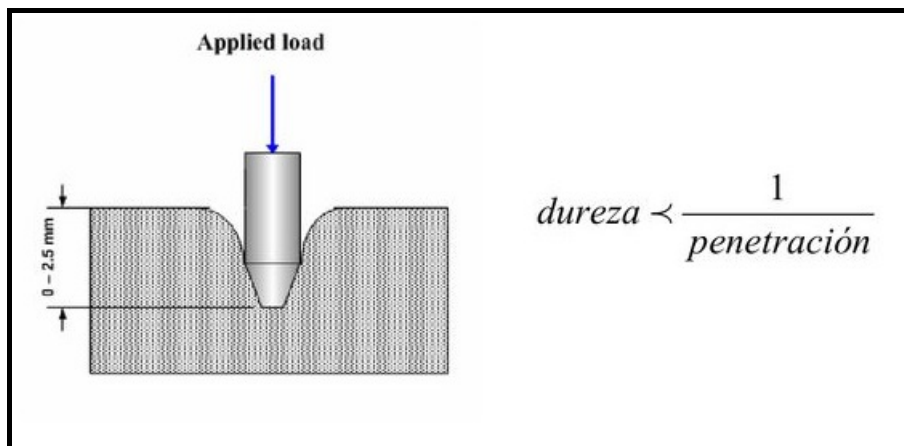
- Proporción y poder reforzante de las cargas.
- Presencia de plastificantes.
- Tipo y composición del caucho.
- Sistema de vulcanización.



**Fig.2.1. Modo gráfico entre las diferentes escalas de dureza. Tomado**  
**[<http://www.quiminet.com/public/EscalasDureza.html>]**



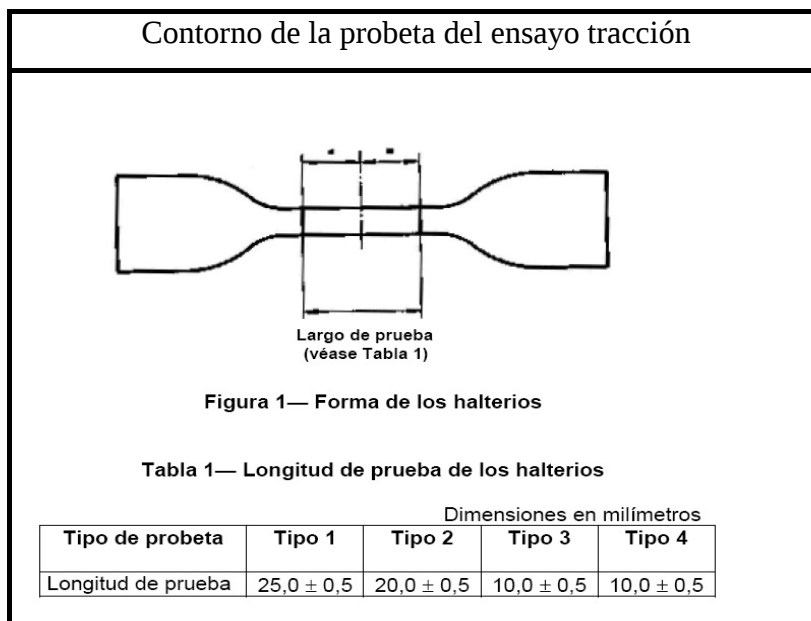
**Fig.2.2. Diferentes tipos de equipos para el ensayo. Tomado (Elastómeros, 2011)**



**Fig.2.3. Relación dureza-penetración. Tomado de (Elastómeros, 2011)**

Ensayo de tracción: consiste en estirar probetas estándar a una velocidad transversal constante de la mordaza o polea móvil. Se toman las lecturas de la fuerza y el alargamiento durante el estiramiento de la probeta hasta la ruptura. En el procedimiento se debe asegurar que las partes paralelas de la probeta de los extremos se agarren simétricamente de forma tal que la tensión se distribuya uniformemente sobre la sección transversal.

NOTA: Se describen cuatro tamaños de probetas, pero siempre que sea posible se deberá utilizar la probeta tipo 1.



**Fig.2.4. Forma de la probeta y longitud de prueba según la NC ISO 262-:2003**

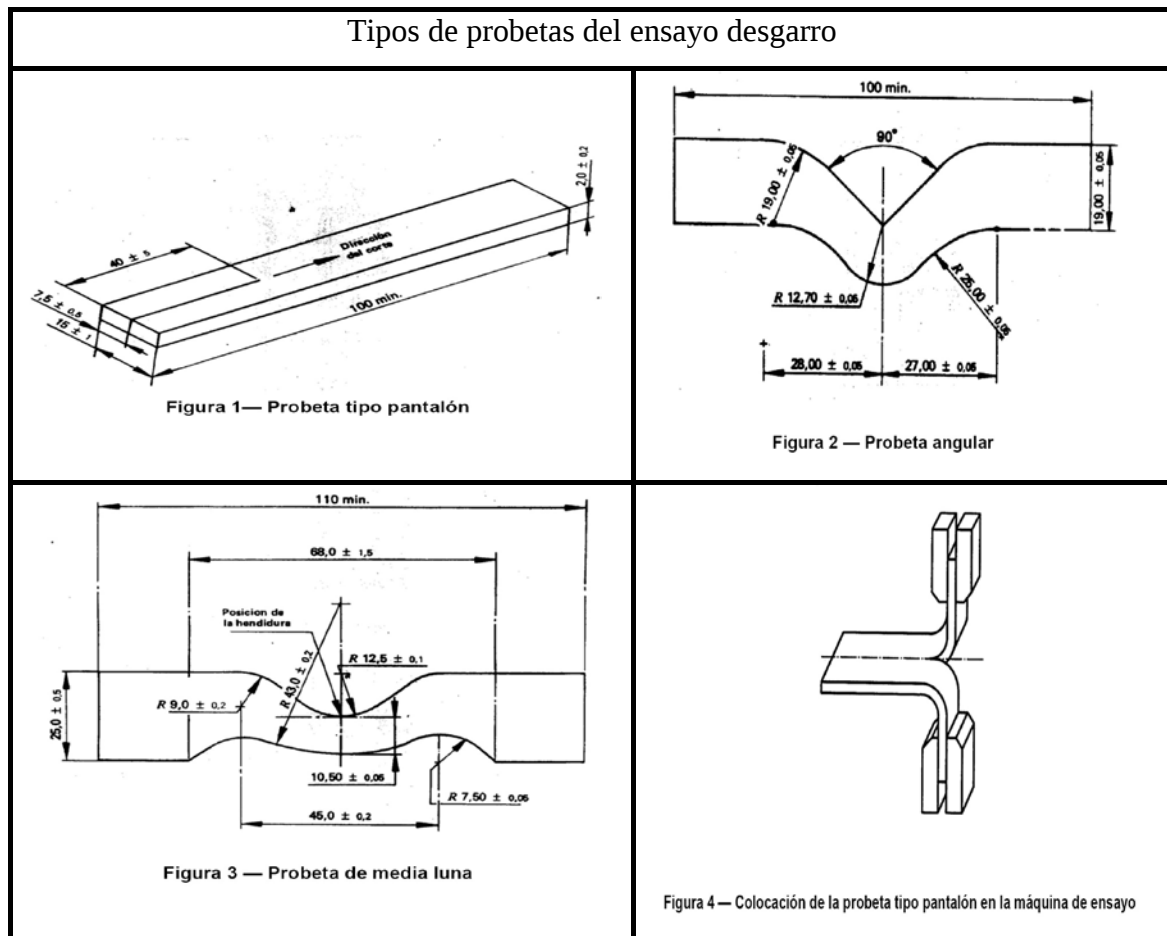


*[<http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polimeros/tema-3.-elastomeros>]*

Factores que influyen en la resistencia a la tracción según (Elastómeros, 2011):

- Sistema de vulcanización.
- Grado de vulcanización.
- Cantidad y grado de dispersión de la carga.

Ensayo de desgarro, en el cual se mide la fuerza necesaria para desgarrar completamente la probeta especificada, como continuación del corte. Esta fuerza se aplica mediante una máquina de tracción que opera sin interrupción.



**Fig.2.6. Tipos de probetas según la NC ISO 34-1: 2003**

Formas de influir en la resistencia al desgarro según (Elastómeros, 2011):

- Tipo de caucho (los cauchos que cristalizan por deformación son más resistentes al desgarro porque en la zona de concentración de esfuerzos se producen altas deformaciones y los cristalitas frenan el avance de las grietas).
- Tipo y proporción y dispersión de la carga reforzante (la resistencia al desgarro es más sensible a la dispersión de la carga que la resistencia a la tracción).
- Grado de vulcanización (el máximo a la resistencia al desgarro ocurre a tiempos de vulcanización menores que al máximo de resistencia a la tracción).

Ensayo de abrasión, se fija una probeta cilíndrica de elastómero, se hace deslizar sobre una lámina abrasiva, de grado abrasivo especificado, bajo una presión de contacto prefijada y sobre una distancia dada.



**Fig.2.7. Equipo para la determinación de la resistencia a la abrasión usando un cilindro giratorio con lámina abrasiva**

Ensayo de fatiga, mide la resistencia de un material cuando se aplica de manera cíclica un esfuerzo por debajo del esfuerzo de cedencia. Ver figura 2.8 tipos de flexómetros (Anónimo, 2015)



**Fig.2.8. Tipos de flexómetros. Tomado de**  
**([http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap16\\_Elastomeros.pdf](http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap16_Elastomeros.pdf))**

Ensayo de reometría, en un equipo llamado reómetro se caracteriza el proceso de vulcanización. Se introduce una probeta de una mezcla de caucho en una cavidad cerrada

herméticamente, bajo una presión positiva inicial y mantenida a una temperatura elevada. Se incluye un disco bicónico dentro de la probeta y se le hace oscilar con una pequeña amplitud rotativa. Esta acción ejerce un esfuerzo de cizalla sobre la probeta y la fuerza (par de torsión) requerida para hacer oscilar el disco, que depende de la rigidez (módulo de cizalla) de la mezcla de caucho. Se registra gráficamente el par en función del tiempo. [NC-ISO 3417:2002]

Sin embargo (Ferré, 2000) también considera importante evaluar aparte de la dureza y la tracción las siguientes propiedades:

- Alargamiento a la rotura: Se expresa en porcentaje. Debe tenerse en cuenta que la relación entre el esfuerzo y la deformación no es constante en los elastómeros, por tal razón en los ensayos se anotan los esfuerzos para alargamientos intermedios, X para 100 %, Y para 200 %, Z para 300 %, etc.
- Resistencia al envejecimiento por calor en aire: Determina la degradación de un elastómero manteniéndolo durante un cierto número de horas a una temperatura superior al ambiente. Indica las variaciones halladas en resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura y la dureza. Hay que tener en cuenta que una goma puede ser afectada en horas, debido a una temperatura elevada, y puede durar años a temperatura ambiente.
- Deformación remanente por compresión: Manteniendo constante un cierto espesor por compresión, el esfuerzo necesario irá disminuyendo debido a una relajación del caucho y al suprimir la fuerza de compresión la pieza de caucho recuperará de inmediato su espesor, pero siempre quedará una deformación residual o remanente.
- Resistencia al aceite: Un inconveniente de los artículos de caucho es la variación dimensional (hinchazón o contracción) y de características mecánicas que sufre tras un contacto prolongado con líquidos y a temperatura elevada, contacto o inmersión que puede ser una situación de trabajo. Indica las variaciones halladas en la resistencia a la tracción, en el alargamiento a la rotura y en el volumen.
- Resiliencia e histéresis: Propiedad importante especial en el caso de los neumáticos.
- Resiliencia: Mide la relación entre la energía restituida después de una deformación y la energía total suministrada para producirla.

- Histéresis: Mide la fracción de energía suministrada para la deformación que es absorbida por el caucho y transformada en calor.

## Capítulo III. Aspectos de análisis de riesgo para emplear en el desarrollo de elastómeros

### 3.1 Análisis de riesgos

El desarrollo tecnológico experimentado por los países industrializados ha llevado consigo una proliferación de instalaciones industriales y del transporte de determinados materiales, lo cual ha implicado la aparición de nuevos riesgos, que pueden originar accidentes graves con un fuerte impacto sobre la población y el entorno. Esta situación hace patente la necesidad de dedicar mayores esfuerzos a la reducción de estos riesgos a un nivel tolerable, compatible con los objetivos de desarrollo sostenible actualmente perseguidos. Solo aquello que es conocido puede ser controlado. Hemos de ser capaces, por tanto, de identificar las situaciones de peligro y analizar y evaluar el riesgo asociado en cuanto a la frecuencia con la que probablemente tendrá lugar un accidente, que posiblemente nunca llegue a ocurrir, y de sus efectos y consecuencias. El análisis de riesgos se ha introducido recientemente en determinados estudios universitarios (ingeniería industrial, ingeniería química); al mismo tiempo, esta temática ha pasado a formar parte del conjunto de conocimientos que se supone que un profesional de los sectores relacionados ha de tener.

En el caso de un material elastomérico se emplean sustancias peligrosas por poseer algunas de las siguientes características: reactividad, inflamabilidad, corrosividad o tóxica, de ahí la importancia de seleccionar cada compuesto teniendo en cuenta la ficha de seguridad. Ella permite evaluar adecuadamente los niveles de riesgo que en muchos casos no son considerados en la toma de decisiones.

Existen dos conceptos que deben estar claro en el momento que se trabaja con la ficha de seguridad:

Peligro: Se utiliza para designar una condición física o química, que puede causar daños a las personas, el ambiente o la propiedad (ej.: incendio, explosión, intoxicación). *Diccionario Larousse*: “Situación en la que es posible que ocurra un mal”.

Riesgo: Implica la posibilidad de sufrir pérdidas económicas o daños a las personas, al ambiente o a la propiedad, expresada en función de la probabilidad de ocurrencia del evento y la magnitud de las consecuencias. *Diccionario Larousse*: “Estar expuesto a la desgracia”.

La gestión de seguridad implica el conocimiento del tema para poder identificar los peligros y los riesgos asociados para así poder disminuir los accidentes e incidentes.

El análisis de riesgo es un proceso que estima la magnitud del riesgo y permite decidir si este es aceptable o tolerable. Se debe aplicar desde la selección de la sustancia, hasta el proceso de transformación incluyendo los aspectos de acabado y calidad del producto.

Para poder decidir si el riesgo asociado a una actividad es aceptable o no, se requiere estimar de alguna manera el nivel de peligro potencial, en términos del daño a las personas, a los bienes y al ambiente, así como la probabilidad de que tal peligro se materialice. Para ello se debe llevar a cabo un análisis de riesgo, cuyos resultados permitan tomar las medidas de gestión y/o tecnológicas que se requiera.

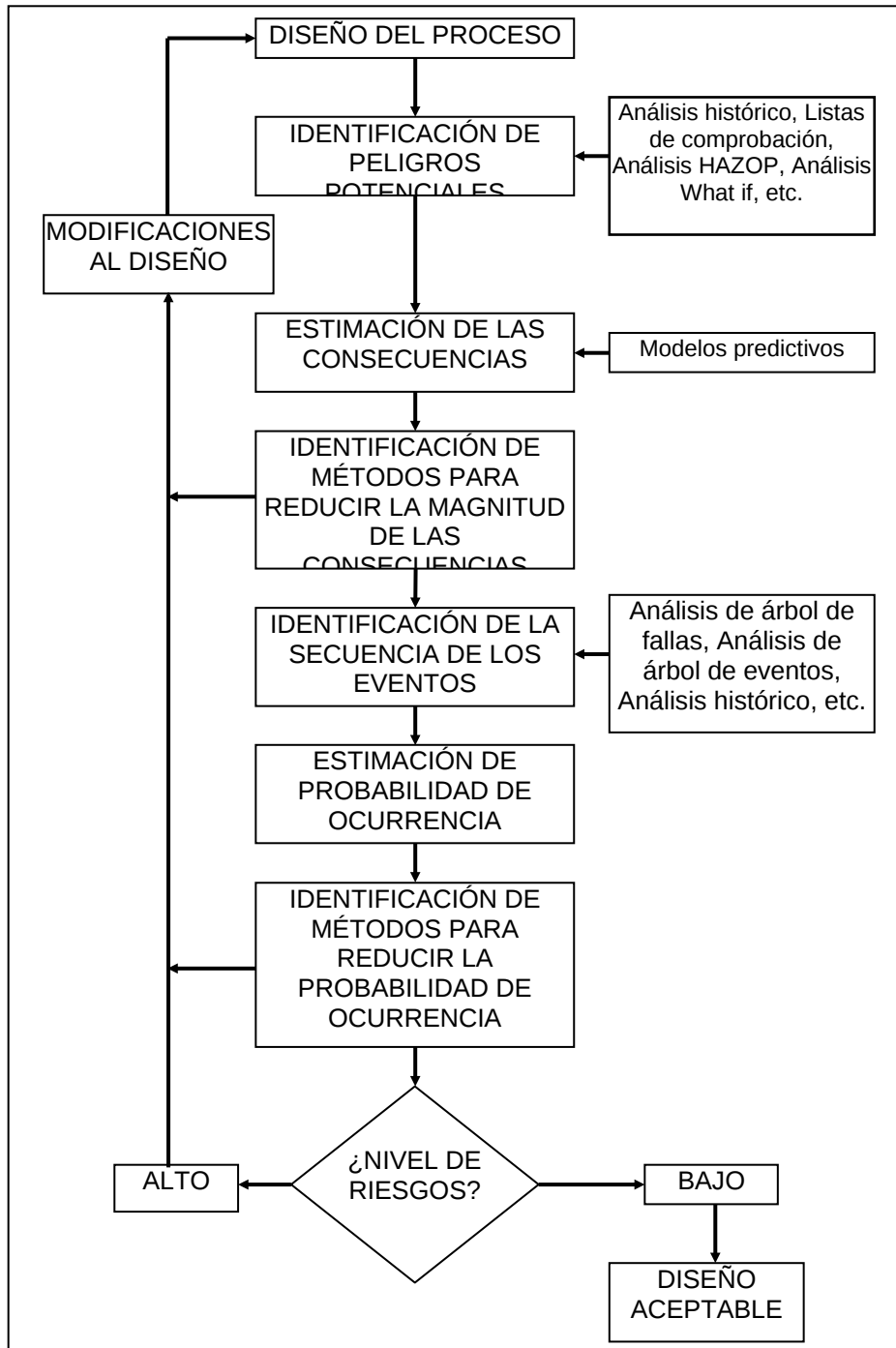
En general, el análisis de riesgo para la prevención de accidentes según (Zaror, 2003) sigue las siguientes etapas que se muestran en la tabla 3.1.

***Tabla 3.1. Etapas de un análisis de riesgo***

| <b>Etapas del análisis de riesgo</b>                                                                         | <b>Preguntas a resolver</b>                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1) Identificación de los peligros y de los eventos que pueden llevar a la materialización de tales peligros. | ¿Qué accidentes pueden ocurrir?                  |
| 2) Análisis de los mecanismos que dan lugar a estos eventos.                                                 | ¿Por qué y cómo pueden suceder?                  |
| 3) Estimación de los efectos (severidad) debido a la materialización de dichos eventos.                      | ¿Cuáles son las consecuencias?                   |
| 4) Estimación de la probabilidad de ocurrencia de tales eventos.                                             | ¿Con qué frecuencia podría ocurrir un accidente? |
| 5) Estimar el riesgo y determinar su aceptabilidad o tolerabilidad.                                          | ¿Es aceptable o tolerable el riesgo?             |

El análisis de riesgo se ha constituido en una poderosa herramienta de gestión, donde se utiliza el conocimiento acerca de los procesos para identificar los potenciales accidentes que pueden ocurrir, sus causas, sus consecuencias y su frecuencia estimada. Los resultados de dicho análisis permiten jerarquizar diferentes opciones para reducir los riesgos de mayor envergadura.

La aplicación del análisis de riesgo debe comenzar desde las primeras etapas del diseño de un proceso (ingeniería conceptual), de modo que las modificaciones necesarias para reducir el nivel de riesgo sean incorporadas en las etapas sucesivas (ingeniería básica e ingeniería de detalle). (Ver figura 3.1).



**Fig.3.1. Etapas típicas de un Análisis de riesgo en el contexto del diseño de procesos más seguros**

Las principales ventajas de utilizar el análisis de riesgo, tanto en la fase de diseño como durante la operación, son según (Zaror, 2003) las siguientes:

- Permite identificar los eventos iniciadores de un potencial accidente, los mecanismos de desarrollo, sus consecuencias y frecuencia de ocurrencia.
- Permite establecer una jerarquía de riesgos y de las prioridades de reducción.
- Permite seleccionar las opciones de reducción con mayor factibilidad de éxito.
- Permite disponer de elementos de análisis sistemáticos, para justificar las decisiones en materia de prevención y seguridad.
- Permite establecer los niveles de confiabilidad de los equipos, maquinarias, sistemas de control, y otros componentes del proceso industrial.
- Permite disponer de una herramienta de apoyo a la formación de los cuadros técnicos, en materias de seguridad.
- Permite anticipar el aumento de los riesgos de accidentes debido a obsolescencia tecnológica, desgaste, cambios en los procesos (ej.: equipos, instrumentación y sistemas de control, distribución física, procedimientos de operación, variables clave), cambios en la estructura orgánica, etc.

Existen muchos métodos para la evaluación de riesgos, con diferentes niveles de complejidad en los procedimientos para la identificación de peligros y para la estimación de la probabilidad y las consecuencias. El autor comparte la opinión con (Zaror, 2003) de que la metodología a emplear en la evaluación de riesgos, debe ser coherente con el objetivo que se persigue con el análisis, y con la calidad de la información que esté disponible:

En una fase inicial del diseño de procesos o del desarrollo de un sistema de gestión de seguridad, se requiere de una evaluación de riesgos que permita establecer aquellos de mayor relevancia, que necesiten de acciones para su control. En ese contexto es suficiente utilizar métodos cualitativos para el análisis preliminar de riesgos.

En el caso de procesos con altos niveles de riesgo, se puede recurrir a métodos más rigurosos para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un evento accidental, o utilizar modelos matemáticos para predecir las consecuencias de un accidente (ej.: explosión, incendio, escape de sustancias peligrosas). Estos métodos cuantitativos son más especializados y requieren de mayor información acerca del proceso en estudio.

### 3.2 Técnicas de identificación de peligros

En el análisis de riesgo la identificación de peligros es una de las etapas fundamentales. Todos aquellos que no sean identificados, no serán considerados, por lo tanto, no se tomarán medidas para reducir sus riesgos asociados. Las principales preguntas que se deben responder según (Zaror, 2003), como resultado de la identificación de peligros son: ¿Existe alguna fuente de peligro?, ¿Quién o qué puede ser dañado?, ¿Cómo puede ocurrir dicho daño?

(Zaror, 2003), propone identificar y caracterizar los peligros durante toda la vida útil de un proyecto, incluyendo las fases de diseño, construcción, puesta en marcha, operación y cierre de la actividad (abandono o cierre temporal) de la planta.

Las circunstancias peligrosas en una planta industrial incluyen:

- Almacenamiento de cantidades importantes de sustancias peligrosas.
- Transporte y procesamiento en condiciones de presión y temperatura extremas.
- Transporte y procesamiento de sustancias peligrosas (insumos químicos, productos, subproductos, compuestos intermedios, residuos).
- Reacciones químicas (exotérmicas o endotérmicas), muy sensibles a parámetros del proceso o impurezas (sistemas catalíticos, baja energía de activación, sensibles a pH).
- Sistemas de Alto Voltaje.
- Presencia de sustancias radioactivas.

Según las Naciones Unidas las sustancias peligrosas se pueden clasificar en nueve clases de acuerdo con sus características de explosividad, inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad. (Ver tabla 3.2).

**Tabla 3.2 Clasificación de sustancias según las Naciones Unidas**

| <b>CLASIFICACIÓN</b> |                                                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| • <b>Clase 1:</b>    | <b>Explosivos</b>                                         |
| 1.1                  | Explosivos con peligro de explosión masiva.               |
| 1.2                  | Explosivos con un peligro de proyección.                  |
| 1.3                  | Explosivos con un peligro predominante de incendio.       |
| 1.4                  | Explosivos sin ningún peligro significativo de estallido. |
| 1.5                  | Explosivos muy insensibles; los agentes explosivos.       |
| 1.6                  | Sustancias de detonación muy insensibles.                 |
| • <b>Clase 2:</b>    | <b>Gases:</b>                                             |
| 2.1                  | Gas inflamable.                                           |
| 2.2                  | Gas comprimido, no inflamable, no venenoso.               |
| 2.3                  | Gas venenoso por inhalación.                              |
| 2.4                  | Gas corrosivo.                                            |
| • <b>Clase 3:</b>    | <b>Líquidos inflamables</b>                               |
| • <b>Clase 4:</b>    | <b>Sólidos inflamables:</b>                               |
| 4.1                  | Sólidos inflamables.                                      |
| 4.2                  | Material espontáneamente combustible.                     |
| 4.3                  | Material peligroso cuando entra en contacto con el agua.  |
| • <b>Clase 5:</b>    | <b>Sustancias oxidantes</b>                               |
| 5.1                  | Sustancias Oxidantes.                                     |
| 5.2                  | Peróxidos orgánicos.                                      |
| • <b>Clase 6:</b>    | <b>Sustancias venenosas y sustancias infecciosas</b>      |
| 6.2                  | Sustancias venenosas.                                     |
| 6.3                  | Sustancias infecciosas.                                   |
| • <b>Clase 7</b>     | <b>Sustancias radiactivas</b>                             |
| • <b>Clase 8</b>     | <b>Materiales corrosivos</b>                              |
| • <b>Clase 9:</b>    | <b>Materiales peligrosos misceláneos</b>                  |

En la figura 3.2 se muestra una tabla con la equivalencia entre las distintas clasificaciones de las sustancias según (Memorias, 2007).

| R.D. 1254/1999                | Frases R                      |                               | ADR                                                                                                                                                                                                                                                      | Pictograma |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1. Muy tóxica                 | R26, R27, R28, R39            | R29, R30, R31, R32            | 6.1 Materias tóxicas                                                                                                                                                                                                                                     |            |
| 2. Tóxica                     | R23, R24, R25                 |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| 3 Comburente                  | R7, R8, R9                    |                               | 5. Materias comburentes y peróxidos orgánicos                                                                                                                                                                                                            |            |
| 4. Explosiva a)               | R2                            | R1, R4, R5, R6, R16, R18, R19 | 1. Materias y objetos explosivos                                                                                                                                                                                                                         |            |
| 5. Explosiva b)               | R3                            |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| 6. Inflamable                 | R10                           | (R15, R18)                    | 3. Líquidos inflamables.<br>4.1 Mat. sólidas inflamables, mat. autorreactivas y mat. explosivas desensibilizadas sólidas<br>4.2 Mat. que pueden experimentar inflamación espontánea<br>4.3 Mat. que al contacto con el agua desprenden gases inflamables | ---        |
| 7.a. Muy Inflamable           | R17                           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| 7.b. Líquido muy inflamable   | R11                           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| 8. Extremadamente inflamable  | R12                           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| 9.i) R-50                     | R50                           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| 9.ii) R-51/53                 | R51/53, R52                   |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| 10. i) R-14                   | R14                           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| 10.ii) R-29                   | R29                           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| Nociva                        | R20, R21, R22 (R42, R65, R68) |                               | 8. Materias corrosivas                                                                                                                                                                                                                                   |            |
| Irritante                     | R36, R37, R38, R41            |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| Sensibilizante                | R42, R43                      |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| Corrosiva                     | R34, R35                      |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| Tóxica para el medio ambiente | R54, R55, R56, R57, R58, R59  |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| Carcinógena                   | R40, R45, R49                 |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| Mutagénica                    | R46, R68                      |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
| Tóxica para la reproducción   | R60, R61, R62, R63            |                               |                                                                                                                                                                                                                                                          | ---        |
|                               |                               |                               | 6.2 Materias infecciosas                                                                                                                                                                                                                                 |            |
|                               |                               |                               | 7. Materias radiactivas                                                                                                                                                                                                                                  |            |
|                               |                               |                               | 2. Gases                                                                                                                                                                                                                                                 |            |

**Fig.3.2. Equivalencia entre las distintas clasificaciones de las sustancias. Tomado de (Memorias, 2007)**

### 3.3 Métodos de identificación de peligros

En la literatura consultada los métodos para la identificación de peligros no es exactamente igual, es decir, existen diferencias en cuanto a los criterios para su clasificación. Autores como (Posada, 1999), (Ramos, 1990) y (Santamaría and Braña, 1994) han contribuido a la amplia gama de métodos que hoy en día se proponen.

1. Métodos comparativos: Se basan en la experiencia previa acumulada en un sector industrial determinado. Son muy utilizados en análisis preliminar de riesgo estos son: Listas de Comprobación, Análisis Histórico de Accidentes, y Normas y Códigos de Diseño.
2. Métodos generalizados: Requieren de mayor información acerca del proceso a analizar y constituyen poderosas herramientas para la identificación de peligros y análisis de los

riesgos asociados. Generalmente se utilizan en una etapa posterior al análisis de riesgo, cuando se ha seleccionado aquellos que ameritan una evaluación con mayores niveles de detalle. Entre los métodos generalizados destacan: Análisis de Peligro y Operatividad (HAZOP), Análisis “¿Qué sucedería si...?” (What if?), Análisis de modalidades de falla y sus efectos (FMEA), Análisis de árbol de fallas (FTA) y Análisis de árbol de eventos (ETA).

Los métodos generalizados de análisis de riesgos, se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados desde el punto de vista lógico-deductivo que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos, operaciones, etc. que trae como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos.

3. Índices de riesgos: Estos son métodos directos y simples para estimar y jerarquizar los riesgos asociados a un proceso. ayudan a seleccionar áreas donde los riesgos son mayores debido a que no son métodos creados para identificar peligros. Utilizan las características de los materiales utilizados (toxicidad, reactividad, volatilidad, etc.), así como la ubicación y disposición de las unidades en la planta. Destacan, entre otros: Índice DOW (de Fuego y Explosión), Índice ICI Mond, Índice de Exposición Química e Índice de Peligro de una Sustancia (SHI)

La lista de comprobación es una guía que permite revisar un proceso e identificar carencias de seguridad o áreas que requieren un estudio más profundo. (APA, 1980 citado por Cápiro, 2012).

Análisis ¿Qué sucedería si...? (What if?)

El Análisis ¿Qué sucedería si...? permite conducir un examen sistemático de una operación o un proceso en base a preguntas de ese tipo. Es una técnica de gran utilidad para la identificación de peligros.

Este análisis requiere de un completo conocimiento del proceso a evaluar. Se debe preparar una lista de preguntas del tipo ¿Qué sucedería si...? aplicadas a desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de la planta.

A pesar de ser un método aparentemente sencillo, requiere de bastante preparación y comprensión del proceso. La calidad de las respuestas depende de los niveles de

conocimiento sobre los fenómenos involucrados, las respuestas esperadas frente a perturbaciones en las variables claves, la relación causa-efecto, etc.

### 3.4 Ejemplo de análisis de peligrosidad de las sustancia.

En el proceso productivo de una planta de elastómeros se emplea gran cantidad de sustancias de diferentes características, en el siguiente ejemplo se exponen en la tabla 3.3 un análisis de peligrosidad de las sustancias utilizadas en una formulación determinada.

**Tabla 3.3 Análisis de peligrosidad de las sustancias involucradas en el proceso**

| Sustancias                                                                                                                                                                                                                                                                             | Características | Peligrosidad |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|----------------|---|-------------|---|------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>Ácido esteárico</div> <div><table><tr><td>SALUD</td><td>1</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>1</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>0</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td></td></tr></table></div>                                                                           | SALUD           | 1            | INFLAMABILIDAD | 1 | REACTIVIDAD | 0 | ESPECÍFICO |  | <p>Cristales blancos o polvo, de olor característico.</p> <p>La sustancia es un ácido débil.</p> <p>Reacciona con bases, oxidantes y agente reductor.</p> <p>La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire cuando se dispersa.</p>                                 | <p>Peligro de explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.</p> <p>La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>La inhalación del polvo puede originar neumonitis química.</p>                                                                                                                                               |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <div>Aluminio</div> <div><table><tr><td>SALUD</td><td>0</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>3</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>1</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td></td></tr></table></div>                                                                                  | SALUD           | 0            | INFLAMABILIDAD | 3 | REACTIVIDAD | 1 | ESPECÍFICO |  | <p>Polvo de blanco a gris.</p> <p>Reacciona con agua, alcoholes y violentamente con oxidantes, ácidos y bases fuertes y cloruro hidrocarbonados, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.</p>              | <p>Peligro de explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.</p> <p>La sustancia se puede absorber por inhalación</p> <p>Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida a partículas de este polvo. La sustancia puede afectar al sistema nervioso dando lugar a disfunciones.</p>                                                 |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <div>Azufre</div> <div><table><tr><td>SALUD</td><td>1</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>1</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>0</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td></td></tr></table></div> | SALUD           | 1            | INFLAMABILIDAD | 1 | REACTIVIDAD | 0 | ESPECÍFICO |  | <p>Polvo amarillo.</p> <p>Reacciona por combustión, formación de óxidos de azufre, incluyendo dióxido de azufre.</p> <p>Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en</p> | <p>Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.</p> <p>Si está seca, puede cargarse electrostáticamente por turbulencia, transporte neumático, vertido, etc.</p> <p>La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.</p> <p>La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p> <p>La inhalación del polvo de la</p> |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0               |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 |              |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                             |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|-------------|---|------------|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | el aire cuando se dispersa. | sustancia puede originar inflamación de la nariz y del tracto respiratorio dando lugar a una bronquitis crónica. Su ingestión puede provocar la muerte. |                |   |             |   |            |  |
| <div>Caucho acrilonitrilo</div> <div><table><tr><td>SALUD</td><td>4</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>3</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>2</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td></td></tr></table><div></div><div></div><div></div></div> <div>Líquido entre incoloro y amarillo pálido, de olor acre.<br/>El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.<br/>La sustancia se descompone al calentarla intensamente produciendo humos tóxicos, conteniendo óxidos de nitrógeno y cianuro de hidrógeno. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y bases fuertes, originando peligro de incendio y explosión.<br/>Por evaporación de esta sustancia a 20 °C, se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</div> <div>El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión.<br/>Se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.<br/>Irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.<br/>Puede causar efectos en el hígado y el sistema nervioso central.<br/>La exposición por encima de cierto nivel puede producir la muerte.<br/>Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.<br/>El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Esta sustancia es probablemente carcinógena para los seres humanos. Puede originar lesión genética en los seres humanos.</div> | SALUD                       | 4                                                                                                                                                       | INFLAMABILIDAD | 3 | REACTIVIDAD | 2 | ESPECÍFICO |  |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 4                           |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3                           |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2                           |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                             |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
| <div>Cera parafina</div> <div><table><tr><td>SALUD</td><td>0</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>1</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>0</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td></td></tr></table></div> <div>Sólido ceroso de blanco a amarillo, inodoro.</div> <div>Se puede absorber por inhalación de los humos.<br/>El humo irrita los ojos, nariz y garganta.</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | SALUD                       | 0                                                                                                                                                       | INFLAMABILIDAD | 1 | REACTIVIDAD | 0 | ESPECÍFICO |  |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0                           |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1                           |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0                           |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                             |                                                                                                                                                         |                |   |             |   |            |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|-------------|---|------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div>-Ftalato de bis(2-etilhexilo)</div><div>-Dioctilftalato</div><div>-Ftalato de di-sec-octilo</div><div>-Aceite DOP</div></div> <div><div></div><div><table><tr><td>SALUD</td><td>0</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>1</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>0</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td></td></tr></table></div><div></div></div> <div></div> <td><div>Líquido viscoso, de incoloro a ligeramente coloreado, de olor característico. Tóxico.</div><div>Reacciona con oxidantes fuertes, ácidos, álcalis y nitratos.</div><div>Por evaporación de esta sustancia a 20 °C no se alcanza, o se alcanza solo muy lentamente, una concentración nociva en el aire.</div></td> <td><div>Se puede absorber por inhalación y por ingestión.</div><div>Irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Puede causar efectos en el tracto gastrointestinal.</div><div>El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</div><div>Puede perjudicar a la fertilidad y dañar al feto.</div></td> | SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | INFLAMABILIDAD | 1 | REACTIVIDAD | 0 | ESPECÍFICO |  | <div>Líquido viscoso, de incoloro a ligeramente coloreado, de olor característico. Tóxico.</div> <div>Reacciona con oxidantes fuertes, ácidos, álcalis y nitratos.</div> <div>Por evaporación de esta sustancia a 20 °C no se alcanza, o se alcanza solo muy lentamente, una concentración nociva en el aire.</div> | <div>Se puede absorber por inhalación y por ingestión.</div> <div>Irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Puede causar efectos en el tracto gastrointestinal.</div> <div>El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</div> <div>Puede perjudicar a la fertilidad y dañar al feto.</div> |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <div><div>N,N-Difenilguani-dina-sim-Difenilguani-dina</div><div>-DPG</div></div> <div><div></div><div></div></div> <div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <div>Polvo incoloro o blanco, cristalino</div> <div>La sustancia se descompone al arder produciendo humos tóxicos. La disolución en agua es moderadamente básica.</div> <div>No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20 °C.</div> | <div>Tóxico</div> <div>Peligroso para el medio ambiente</div> <div>La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</div> <div>La sustancia irrita levemente los ojos.</div> <div>La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.</div> <div>Puede arder si se declara un incendio produciéndose gases tóxicos e irritantes.</div> |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                       |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|-------------|---|------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div></div>                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                       |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <div><p>Benzotiazol-2-Tiol<br/>-2-Mercaptobenzotiazol<br/>-MBT</p><div></div></div>                                                                                                                                                    | <div><p>Cristales amarillos, de olor característico.</p><p>Por combustión, formación de humos tóxicos (monóxido de carbono y compuestos de azufre). La sustancia se descompone al calentarla intensamente y al arder, produciendo humos irritantes y tóxicos de azufre y óxidos de nitrógeno. Reacciona con ácidos dando lugar a la formación de humos tóxicos de azufre.</p><p>La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire, especialmente si se está en forma de polvo.</p></div> | <div><p>Se puede absorber por inhalación del aerosol y a través de la piel.</p><p>La sustancia irrita los ojos.</p><p>El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis o sensibilización de la piel.</p></div> |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <div><p>Negro de carbono<br/>-C</p><div><table><tr><td>SALUD</td><td>0</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>1</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>0</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td></td></tr></table><div></div></div></div> | SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0                                                                                                                                                                                                                                     | INFLAMABILIDAD | 1 | REACTIVIDAD | 0 | ESPECÍFICO |  | <div><p>Lentejas negras o polvo extremadamente fino, inodoro.</p><p>Nubes de polvo de carbón pueden arder en contacto con superficies calientes (por encima de 500 °C).</p><p>Reacciona por combustión, formación de humos tóxicos de monóxido de carbono. Reacciona con oxidantes fuertes tales como, cloratos, bromatos y nitratos.</p><p>La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por dispersión.</p></div> | <div><p>Se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión. Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida a elevadas concentraciones.</p><p>El negro de carbón contiene alrededor de un 8 % de sustancias volátiles lo que implicar un potencial peligro de explosión.</p><p>Algunas formas de negro de carbón pueden contener compuestos carcinógenos tales como extractos orgánicos.</p></div> |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                       |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                       |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                       |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                       |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <div><p>Óxido de zinc.</p></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <div><p>Polvo o cristales blancos, inodoros.</p></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <div><p>Se puede absorber por inhalación</p></div>                                                                                                                                                                                    |                |   |             |   |            |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |   |             |   |            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|-------------|---|------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>-Zinc blanco<br/>-Monóxido de zinc.<br/>-ZnO</p> <table><tr><td>SALUD</td><td>1</td></tr><tr><td>INFLAMABILIDAD</td><td>0</td></tr><tr><td>REACTIVIDAD</td><td>0</td></tr><tr><td>ESPECÍFICO</td><td>E</td></tr></table>  | SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | INFLAMABILIDAD | 0 | REACTIVIDAD | 0 | ESPECÍFICO | E | <p>Reacciona violentamente con aluminio, polvos de magnesio y con el caucho clorado bajo calor intenso, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por dispersión.</p> | <p>del aerosol, polvo, humos, y por ingestión.</p> <p>Irrita el tracto respiratorio. La inhalación del polvo o humo puede originar fiebre de los humos metálicos. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica</p> <p>El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La exposición prolongada o repetida puede originar asma.</p> <p>Los síntomas de fiebre de los humos metálicos no se ponen de manifiesto hasta pasadas algunas horas.</p> |
| SALUD                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |   |             |   |            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| INFLAMABILIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |   |             |   |            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| REACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |   |             |   |            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |   |             |   |            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>TIRAM<br/>-Disulfuro de tetrametiltioura milo<br/>-Disulfuro de bis-<br/>(dimetiltiocarba milo)</p>                                                                                                                     | <p>Cristales incoloros.</p> <p>La sustancia se descompone al calentarla intensamente y al arder, produciendo humos tóxicos de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre. Reacciona con oxidantes fuertes, ácidos y materiales oxidables</p> <p>La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por dispersión.</p> | <p>Peligro de explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.</p> <p>Se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p> <p>El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel. Puede afectar a la glándula tiroides e hígado.</p> <p>La experimentación animal muestra posible causa de efectos tóxicos en la reproducción humana.</p> |                |   |             |   |            |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Las materias primas utilizadas son, en conjunto, compuestos inflamables, tóxicos, mutagénicos, carcinógenos y peligrosos, lo que genera un riesgo potencial en su almacenamiento, manipulación y procesado.

Por lo que para su almacenamiento y manipulación es necesario tener presente un conjunto de medidas que garanticen la protección del trabajador y la prevención de accidentes indeseables, en primer lugar con el caucho y el negro de carbón, pues son las sustancias que se manipulan en una mayor proporción.

Para el uso del caucho acrilonitrilo se recomienda por las organizaciones internacionales que:

- La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite de exposición ocupacional de 2 ppm en el aire para acrilonitrilo durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.
- El Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud (NIOSH) recomienda que el aire en el trabajo no contenga más de 1 ppm de acrilonitrilo como promedio durante una jornada de 10 horas diarias.
- Consultar las Fichas de Datos de Seguridad de las Sustancias, reportadas en <http://www.mtas.es/insht/copy.htm>, o catálogos de Panreac, de la <http://www.chemdat.info>, Merck, etc.

### **3.5 Ejemplo de análisis de peligrosidad del proceso**

Existen diferentes métodos para la identificación de peligros como se menciona anteriormente, aquí se utilizará el método What if?, tomando como base que el diseño de la planta se encuentra en la etapa conceptual. El propósito del What if? es identificar peligros, el análisis involucra la investigación de las posibles desviaciones del diseño, construcción, modificación o intención de operación de un proceso, debido a su flexibilidad. Puede ser realizado en cualquier etapa de la vida del proceso utilizando la información y conocimiento del proceso disponible.

Se parte de la propuesta de tecnología desarrollada y de los cálculos realizados en el capítulo anterior. Para identificar por áreas analizadas los peligros involucrados, se subdivide el estudio en las siguientes áreas: suministros del proceso, equipos y la tecnología utilizada, materias primas, procesamiento en el mezclador interno, procesamiento en el mezclador de rodillos, procesamiento en la prensa, cableado eléctrico en el local, protección contra incendios y sistema de ventilación. Los resultados de este análisis se separaron en diferentes tablas (Tabla 3.4 a la 3.12) según el área analizada y se proponen medidas a tomar para minimizar o eliminar el peligro.

**Tabla 3.4 Análisis What if? para los suministros del proceso**

| Posible fallo                                                      | Consecuencia                                                                                                                                                                                                        | Medidas a tomar                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(Suministros )</b>                                              | <b>Proceso en general</b>                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                      |
| ¿Qué sucedería si se suspendiera el suministro de agua al proceso? | Aumenta el peligro de quemaduras en los equipos que usan el agua como medio de enfriamiento. Pérdida de las mezclas que están siendo procesadas en el momento, tanto en el mezclador de rodillos como en la prensa. | Revisión periódica del estado técnico de la bomba y el sistema de distribución de agua, así como los niveles de agua en la cisterna. |
| ¿Qué sucedería si se cortara el fluido eléctrico?                  | Se detienen los mezcladores. Prevulcaniza la mezcla que esté en el mezclador de rodillos.                                                                                                                           | Parar el proceso, limpiar y volver a comenzar                                                                                        |
| ¿Qué sucedería si fallara suministro de vapor?                     | El proceso de vulcanización no ocurre de manera correcta, no se alcanza la temperatura establecida en la carta tecnológica. Problemas de calidad del producto final.                                                | Revisión técnica del sistema de distribución de vapor, planificar limpiezas periódicas de las incrustaciones en las tuberías.        |

**Tabla 3.5 Análisis What if? para los equipos y la tecnología utilizada**

| Possible fallo                                                        | Consecuencias                                                                                                                                                                                               | Medidas a tomar                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Mezclador )                                                          | Tipo de mezclador                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                      |
| ¿Qué sucedería si no se utiliza un mezclador interno?                 | Dispersión de las materias primas en el local, lo que provoca peligro de explosión, incendio, irritación y afectaciones en la piel, las mucosas, el sistema respiratorio y digestivo del personal expuesto. | Cumplir la norma donde se establece la utilización de mezcladores internos cuando en la mezcla hay negro de carbono. |
| ¿Qué sucedería si no se utiliza el método de mezclado de tres etapas? | Cambiarían las propiedades mecánicas de la mezcla final, pues ya no sería esta tecnología al cambiar los parámetros del proceso.                                                                            | Cumplir con lo estipulado en las cartas tecnológicas.                                                                |

**Tabla 3.6 Análisis What if? para las materias primas.**

| Possible fallo     | Consecuencia | Medidas a tomar |
|--------------------|--------------|-----------------|
| (materias primas ) | Mezclado     |                 |

|                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Qué sucedería si el negro de carbono no fuese acondicionado previamente antes de alimentarse al mezclador?                           | Variación de las propiedades mecánicas de la pieza final, lo que afecta la seguridad del equipo de que formará parte.                                                              | Acondicionamiento en la estufa a las condiciones establecidas en la NC 346:2004.                                                                    |
| ¿Qué sucedería si el negro de carbono fuese mal manipulado en el momento de ser alimentado al mezclador y fuese liberado en el local? | Dispersión en el local, provocando peligro de explosión, irritación y afectaciones en el sistema respiratorio del operador.                                                        | Mantener correctamente cerrado el recipiente de transportación del compuesto y realizar la operación en un mezclador interno.                       |
| ¿Qué sucedería si el acrilonitrilo se derramase en el momento de ser alimentado al mezclador?                                         | Riesgo de incendio tanto por ignición como por reacción violenta con otros productos. Aparición de enrojecimiento en la piel y los ojos, náuseas, mareos, visión borrosa, vómitos. | Utilizar los medios de protección individual, mantener el recipiente cerrado y prestar especial atención en el momento de alimentarse al mezclador. |
| ¿Qué sucedería si el aceite DOP se derramase en el momento de ser alimentado al mezclador?                                            | Posible incendio ante una fuente de ignición, tos y dolor de garganta para el personal que lo inhale.                                                                              | Correcta manipulación en el momento de la alimentación, mantener el área libre de fuentes de ignición.                                              |
| ¿Qué sucedería si la cera parafina se derramase en el momento de ser alimentado al mezclador?                                         | Peligro de incendio ante una fuente de ignición.                                                                                                                                   | Correcta manipulación en el momento de la alimentación, mantener el área libre de fuentes de ignición.                                              |
| ¿Qué sucedería si el óxido de zinc+aluminio se derramase en el momento de ser alimentado al mezclador?                                | Por inhalación provocaría dolor de cabeza, náuseas, vómitos, debilidad, fiebre, además de enrojecimiento e irritación en los ojos.                                                 | Usar gafas y respiradores antipolvo. Correcta manipulación en el momento de la alimentación.                                                        |
| ¿Qué sucedería si parte del ácido esteárico se derramase fuera del mezclador?                                                         | Peligro de incendio ante una fuente de ignición                                                                                                                                    | Mantener el área libre de fuentes de ignición.                                                                                                      |

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Qué sucedería si parte del azufre quedase fuera del mezclador y se dispersase?    | Peligro de incendio y explosión. Sensación de quemazón, tos, dolor de garganta al ser inhalado Enrojecimiento de la piel Visión borrosa. Sensación de quemazón, diarrea por ingestión. | Usar gafas y respirador antipolvo, mantener el área libre de fuentes de ignición y manipular correctamente el compuesto.    |
| ¿Qué sucedería si parte del DPG se derramase?                                      | Peligro de incendio. Dolor y enrojecimiento en los ojos. Dolor abdominal por ingestión.                                                                                                | Evitar contacto con llamas o chispas, usar medios de protección adecuados.                                                  |
| ¿Qué sucedería si parte del MBT se derramase?                                      | Peligro de incendio con formación de gases extremadamente tóxicos. Dolor y enrojecimiento en los ojos. Tos intensa.                                                                    | Evitar la presencia de llamas y chispas en el local. Trabajar con gafas y respiradores antipolvo.                           |
| ¿Qué sucedería si parte del TMTD entra en contacto con el medio o con el operador? | Peligro de incendio y explosión. Irritación de mucosas y piel, confusión mental, dolor en los ojos.                                                                                    | Usar los medios de protección individual, mantener la ventilación del local y prestar especial atención en su manipulación. |
| ¿Qué sucedería si el operador entra en contacto con el caucho acrilonitrilo?       | Peligro de incendio, náuseas, vómitos, dolor en los ojos, desarrollo de tumores.                                                                                                       | Usar los medios de protección individual.                                                                                   |

**Tabla 3.7 Análisis What if? el procesamiento en el mezclador interno.**

| Posible fallo                                                                                                          | Consecuencia                                                                                                                                                                                           | Medidas a tomar                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(proceso ) Mezclador Interno</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                           |
| ¿Qué sucedería si el mezclador interno tuviera un escape por no quedar correctamente cerrado?                          | Dispersión de las materias primas en el local, provocando peligro de explosión, incendio irritación y afectaciones en la piel, las mucosas, el sistema respiratorio y digestivo del personal expuesto. | Revisión técnica del equipo antes de comenzar el turno de trabajo.                                                                        |
| ¿Qué sucedería si cesa el flujo de agua de enfriamiento a través de las paredes y las cuchillas del mezclador interno? | Calentamiento excesivo del equipo con posibles quemaduras para el operador y afectaciones en las piezas del equipo sensibles al calor.                                                                 | Verificación del funcionamiento de la bomba e instalación de sistemas de control que detengan el proceso ante fallos en el flujo de agua. |
| ¿Qué sucedería si fallara el fluido eléctrico?                                                                         | Nada, se detiene el equipo.                                                                                                                                                                            | Parar el proceso, limpiar y volver a comenzar                                                                                             |

|                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                        |                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Qué sucedería si se alimenta cantidades incorrectas de materias primas o se deja de adicionar alguna?                                  | El producto final no cumpliría las normas de calidad requeridas. Piezas defectuosas que comprometen la calidad del producto final, que habría que desechar.            | Prestar especial atención al despacho de materias primas y a al proceso de alimentación del equipo. |
| ¿Qué sucedería si la mezcla resultante es retirada del equipo y transportada al área de reposo sin las medidas de seguridad requeridas? | El operador se expone a todos los peligros que representan la exposición y el contacto con las materias primas antes analizadas, riesgo de quemadura al tocar la masa. | Manipulación de la mezcla usando los medios de protección individual.                               |

***Tabla 3.8 Análisis What if? para procesamiento en el mezclador de rodillos.***

| <b>Posible fallo</b>                                                                    | <b>Consecuencia</b>                                                                                                             | <b>Medidas a tomar</b>                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(proceso ) Mezclador de rodillos</b>                                                 |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                             |
| ¿Qué sucedería si por el mezclador de rodillos dejara de circular agua de enfriamiento? | La temperatura se elevaría a valores en los cuales existe el peligro de quemadura para el operador y prevulcanizaría la mezcla. | Revisión técnica a la bomba y el sistema de tuberías de agua de enfriamiento.                                                                               |
| ¿Qué sucedería si fallara el fluido eléctrico?                                          | Se detiene el equipo. La mezcla que se esté procesando en el momento prevulcaniza por partes, debido al mezclado incompleto.    | Parar el proceso, limpiar y volver a comenzar                                                                                                               |
| ¿Qué sucedería si una extremidad del operador quedara atrapada entre los dos rodillos?  | Severos daños a la integridad física del operador con probabilidades de mutilación permanente.                                  | Preparación de los operadores en cuanto a medidas de seguridad y primeros auxilios. Comprobar los sistemas de frenos automáticos al comienzo de cada turno. |
| ¿Qué sucedería si no funcionasen los sistemas de frenos de emergencia?                  | Peligro de accidentes grave si el operador queda atrapado entre los rodillos.                                                   | Comprobar los sistemas de frenos automáticos al comienzo de cada turno.                                                                                     |

|                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Qué sucedería si los rodillos giran a una velocidad excesiva?                                                                          | Aumenta la probabilidad de que el operador sufra un accidente al quedar atrapado entre ambos cilindros                                                                | Comprobar el funcionamiento del sistema de frenos de emergencia antes de empezar cada turno, mantener en buen estado técnico el mezclador.            |
| ¿Qué sucedería si la apertura entre los cilindros no es la adecuada?                                                                    | El proceso de mezclado se dificultaría aumentando el esfuerzo requerido por parte del operador y la probabilidad de ocurrencia de un accidente.                       | Comprobar antes de comenzar el mezclado que la abertura entre los cilindros es la correcta ajustando la misma según las características de la mezcla. |
| ¿Qué sucedería si el operador no se protege de las emisiones gaseosas durante el proceso?                                               | Posible irritación de las mucosas y la piel, problemas respiratorios, náuseas, visión borrosa, vómitos, desarrollo de tumores.                                        | Exigir el uso de los medios de protección individual y mantener la ventilación del local de trabajo.                                                  |
| ¿Qué sucedería si fallara el control de temperatura del mezclador?                                                                      | Peligro de quemaduras, prevulcanización de la mezcla.                                                                                                                 | Mantener calibrados los instrumentos de control de temperatura.                                                                                       |
| ¿Qué sucedería si los batidores no existieran o estuvieran en mal estado?                                                               | Aumenta la probabilidad de quemaduras y se pierde parte de la mezcla.                                                                                                 | Mantener colocados los batidores, y comprobar su estado técnico sistemáticamente.                                                                     |
| ¿Qué sucedería si la mezcla resultante es retirada del equipo y transportada al área de reposo sin las medidas de seguridad requeridas? | El operador se expone a todos los peligros que representan la exposición y el contacto con las materias primas antes analizadas, riesgo de quemadura al tocar la masa | Manipulación de la mezcla usando los medios de protección individual                                                                                  |

***Tabla 3.9 Análisis What if? para el procesamiento en la prensa.***

| <b>Posible fallo</b>                           | <b>Consecuencia</b>                                                                 | <b>Medidas a tomar</b> |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>(proceso ) Prensa</b>                       |                                                                                     |                        |
| ¿Qué sucedería si fallara el fluido eléctrico? | Se detiene el equipo, la preforma ubicada en el molde no completa la vulcanización. |                        |

|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Qué sucedería si la temperatura sobrepasa el valor establecido en la carta tecnológica?            | Aumenta la probabilidad de quemadura, la preforma sobrevulcaniza y se compromete el correcto funcionamiento del equipo del que formara parte la pieza.                                                                             | Mantener calibrados los instrumentos de control de temperatura.                                                                              |
| ¿Qué sucedería si el sistema hidráulico de la prensa fallara o funcionara incorrectamente?          | La presión alcanzada sería menor a la establecida en la carta tecnológica, por lo que las piezas producidas no tendrían la calidad requerida para garantizar la seguridad en el funcionamiento del equipo del que formarían parte. | Revisión y mantenimiento periódico del sistema de distribución hidráulico y de la bomba de aceite.                                           |
| ¿Qué sucedería si la temperatura no alcanza el valor establecido en la carta tecnológica?           | No se logra la densidad de enlace requerida, la pieza no tiene las propiedades mecánicas requeridas comprometiendo el funcionamiento del equipo del que formará parte.                                                             | Mantener calibrado los instrumentos de medición. Realizar limpieza y mantenimiento periódico del sistema de distribución de vapor.           |
| ¿Qué sucedería si el operador se expone a los gases desprendidos en la vulcanización?               | Irritación de piel y mucosas, problemas respiratorios, desarrollo de tumores, tos intensa.                                                                                                                                         | Exigir el uso de los medios de protección individual, mantener en el área de la prensa una campana de extracción y la ventilación del local. |
| ¿Qué sucedería si no se utilizan los medios de protección individual en esta área?                  | Irritación de piel y mucosas, problemas respiratorios, desarrollo de tumores.                                                                                                                                                      | Exigir el uso de los medios de protección individual, mantener en el área de la prensa una campana de extracción y la ventilación del local. |
| ¿Qué sucedería si no funciona la campana de extracción ubicada sobre el equipo?                     | Se acumulan gases en el local, afectando a todos los operadores por ser este común a todos los equipos.                                                                                                                            | Ejecutar mantenimiento planificado en la campana y verificar su funcionamiento antes de comenzar cada turno.                                 |
| ¿Qué sucedería si el molde o la pieza son manipulados incorrectamente al concluir la vulcanización? | Riesgo de quemadura grave para el operador.                                                                                                                                                                                        | Utilización de los medios de protección individual establecidos para la operación.                                                           |

**Tabla 3.10 Análisis What if? para el cableado eléctrico en el local.**

| <b>Posible fallo</b>                                                         | <b>Consecuencia</b>                                                                                                                                                                      | <b>Medidas a tomar</b>                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(locales ) Cableado eléctrico</b>                                         |                                                                                                                                                                                          |                                                                                    |
| ¿Qué sucedería si ocurre un corto circuito en una de las áreas de la planta? | Aumento del riesgo de explosión e incendio, sobre todo si el área cuenta con presencia de materias primas o productos, ya sea intermedios o finales.                                     | Colocar equipos de desconexión automática en el sistema eléctrico como prevención. |
| ¿Qué sucedería si el voltaje aumenta?                                        | Aumenta la velocidad de giro de los cilindros en el mezclador de rodillos aumentando el riesgo de accidente para el operador. Aumenta la posibilidad de ocurrencia de un corto circuito. | Colocar dispositivos de protección contra variación de voltaje.                    |

**Tabla 3.11 Análisis What if? para los medios de protección contra incendios.**

| <b>Posible fallo</b>                                                                                    | <b>Consecuencia</b>                                                                                                                                                                | <b>Medidas a tomar</b>                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(locales ) Protección contra incendio</b>                                                            |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                               |
| ¿Qué sucedería si no existiera medios de protección contra incendios en la planta?                      | Sería imposible detener la propagación de un incendio en la planta.                                                                                                                | Mantener en la planta los medios especializados para extinguir los distintos tipos de incendios que pueden presentarse con estos compuestos.  |
| ¿Qué sucedería si el personal no está capacitado en el uso de los medios de protección contra incendio? | Dificulta la extinción de un posible incendio antes que se propague. Posibilidad de extinción de incendio con el medio incorrecto provocando accidentes y propagación del incendio | Capacitar al personal en el dominio de los medios de protección contra incendio, identificación del tipo de incendio y del tipo de iniciador. |

| Posible fallo                                            | Consecuencia                                                                                                                                                                                           | Medidas a Tomar                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(locales ) Ventilación</b>                            |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                |
| ¿Qué sucedería si el sistema de ventilación no funciona? | Acumulación de partículas suspendidas en el local; aparición de enfermedades respiratorias, irritación de la piel y los ojos de los operadores; aumento del riesgo de explosión e incendio en el local | Mantener funcionando y en buen estado técnico el sistema de ventilación, comprobar que la velocidad de giro de los extractores es la adecuada. |

Del análisis What if?, se obtiene como resultado que de los aspectos analizados son las materias primas y el proceso de vulcanización (procesamiento en la prensa), los de mayor peligrosidad, además se proponen un conjunto de acciones básicas de minimización de peligros para cada aspecto estudiado.

## CONCLUSIONES

1. Para desarrollar formulaciones elastoméricas es necesario seleccionar un caucho base adecuado a las exigencias que requiera el material, escoger los tipos de aditivos a utilizar en la mezcla y conocer las medidas de seguridad en el manejo de las sustancias involucradas.
2. Los diseños de experimentos para mezclas es la herramienta que permite planificar, organizar y desarrollar el trabajo experimental. Luego se hace la caracterización a través de distintos tipos de ensayos que son los que brindan la información para la evaluación finalmente.
3. Los aspectos más peligrosos en el proceso de vulcanización son:
  - La manipulación de las materias primas identificadas como sustancias peligrosas por ser un conjunto de compuestos inflamables tóxicos mutagénicos y carcinógenos.
  - El procesamiento de las mezclas en los mezcladores internos y de rodillo, además del proceso de prensado (vulcanización).

## BIBLIOGRAFÍA

1. A. DAS, N. D., DEBNATH, S. C., S. PAL, K. & ENSCHEDE, R. N. D. 2005. Efecto de las técnicas de vulcanización sobre las propiedades físicas y dieléctricas del EPDM cargado con Negro de Carbono. *Revista del Caucho*. España.
2. A.J.MARZOCCA, GARRAZA, A. L. R., P.A.SORICHETTI, C.L.MATTEO & H.O.MOSCA 2012. About the cure kinetics and dielectric relaxation spectroscopy IN compounds of polybutadiene (BR) WITH dicumyl PEROXIDE *ANALES AFA* Vol. 23 No. 2, 75-79.
3. ALBANO, C., HERNÁNDEZ, M., ICHAZO, M. N., GONZÁLEZ, J. & DESOUSA, W. 2011. Characterization of NBR/bentonite composites: vulcanization kinetics and rheometric and mechanical properties. *Polym. Bull.*, Vol. 67, 653-667.
4. AMC, C. 2015. Mecnocaucho.Glosario. Available: [www.mecanocaucho.com](http://www.mecanocaucho.com).
5. ANÓNIMO. 2015. Elastómeros. Cauchos, gomas y siliconas [Online]. Available: [http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap16\\_Elastomeros.pdf](http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap16_Elastomeros.pdf).
6. ASKELAND, D. R. 1998. Ciencia e Ingeniería de los Materiales.
7. BERTA, D. A. 1986. Un procedimiento para preparar una composición de caucho vulcanizado. EE.UU. patent application.
8. BOTASSO, G., REBOLLO, O., CUATTROCCHIO, A. & SOENGAS, C. 2008. Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura. *infraestructura vial* [Online], No 20.
9. CABRERA, M. A. G. 2004. Caracterización de mezclas de caucho virgen y recuperado de tipo nitrilo (NBR). Tesis de Grado, Universidad Simón Bolívar.
10. CAL, B. R. C. 2003. Desarrollo y evaluación de materiales elastoméricos para la elaboración del diafragma de goma de los compensadores de presión de los helicópteros. Tesis de Maestría, UCLV.

11. CAL, B. R. C., VALDÉS, B. F. G., GARCÍA, E. A. & BLANCO, R. A. 2012. Evaluación de Elastómeros vulcanizados. *Revista Afinidad*, Vol.69 No. 558, 131-136.
12. CAL, B. R. C., VALDÉS, B. F. G., GARCÍA, E. A. & BLANCO, R. A. 2015. Evaluación de elastómero vulcanizado (Parte II). *Revista Afinidad*, Vol. 72 , No. 570, 133-137.
13. CÁMARA, M. S., ZAN, M. M. D., CANDIOTI, L. V. & GOICOCHEA, H. Year. Diseño experimental y optimización de sistemas con múltiples respuestas. Metodología de la superficie de respuesta (RSM). In, 2016.
14. CÁPIRO, O. G. 2012. Propuesta de una tecnología para la producción de diafragmas y protectores de caucho vulcanizado para helicópteros. Tesis de Grado. UCLV.
15. CARBONELL, R. A. G. 2009. Tacón de torque para uso ortopedico: desarrollo del material elastomérico para su fabricación y diseño. Tesis de Doctorado.UCLV.
16. CÁRCER, M. V. D. 1989. Tratado moderno de las industrias del caucho.
17. CARTAYA, R. A. 2004. Evaluación de formulaciones de caucho natural con cargas orgánicas e inorgánica.Universidad Central de Venezuela.
18. CASTAÑO, N. 2010. Historia del Caucho.
19. COMERCIAL ELASTOMÉRICA, S. A. D. C. V. 2008. Available: [http://www.elastomerica.com/esp/materias\\_primas/vulcanizantes.html](http://www.elastomerica.com/esp/materias_primas/vulcanizantes.html) [Accessed].
20. CORCHO, L. M. 2004. Desarrollo y Evaluación de Material Elastomérico para la Fabricación del Protector de Goma de los Cilindros Hidráulicos de las Aspas Horizontales del Rotor Central de los Helicópteros. Tesis de Maestría. UCLV.
21. DEANIN, R. D. & MANION, M. A. 1999. Compatibilization of Polymer Blends. *Compatibilization and Miscibility. Polymer Blends and Alloys*.
22. ELASTÓMEROS. 2011. Ensayos físicos en elastómeros. *Control de la calidad* [Online]. Available: <http://www.youblisher.com/p/156227-Ensayos-Fisicos-Primera-Parte/>.

23. FERNÁNDEZ, O. P. 2003. Nuevo material elastomérico para la cubierta de los rodillo de presión de las maquinas hiladoras. Tesis de Doctorado, UCLV.
24. FERRÉ, M. 2000. Manual básico del caucho para el diseño o selección técnica de artículos de caucho [Online]. Available: <http://cerclesbd.spaces.live.com/blog/cns!CFBCC068F40F540D!2764.entry>. [Accessed].
25. Ficha de datos de seguridad (msds). Óxido de zinc . Nedrom ibérica, s.l. . 2005.
26. Ficha de datos de seguridad. 2-mercaptobenzotiazol.general química s.a. 2011.
27. Ficha de datos de seguridad. Parafinas macrocristalinas. Repsol ypf2001.
28. Ficha de datos de seguridad. Zinc oxide. Norkem. 2008.
29. Fichas Internacionales de Seguridad Química A. Óxido de zinc. 2004.
30. Fichas Internacionales de Seguridad Química Cera Parafina. 2003.
31. Fichas Internacionales de Seguridad Química. Ácido Esteárico. 1994.
32. Fichas Internacionales de Seguridad Química. ACRILONITRILO. 1991.
33. Fichas Internacionales de Seguridad Química. Acrilonitrilo. 2005.
34. Fichas Internacionales de Seguridad Química. Ftalato de di(2-etilhexilo). 2001.
35. Fichas internacionales de seguridad química. Negro carbon2010.
36. Fichas Internacionales de Seguridad Química. Negro de carbón1994.
37. Fichas Internacionales de Seguridad Química.2-Mercaptobenzotiazol. 1994.
38. FRED W. BILLMEYER, J. 2004. Ciencia de los polímeros, España.
39. FT-16-0 2014. Ficha técnica polímero base.guía resumida de polímeros sintéticos utilizados para caucho y elastómeros . In: INSHT (ed.).
40. GARCÍA, 1990. Material Elastomérico para la Fabricación y recuperación de rodillos de las máquinas hiladoras y manuales de la industria textil Sakenaf.
41. GARCÍA, E. Á. 1992. Evaluación tribológica de nuevo material compuesto base caucho. Tesis de Doctorado, UCLV.

42. GARCÍA, E. Á. 1993. Valoración tribológica de compuestos de gomas reforzados con sílice para la fabricación y recuperación de neumáticos.
43. GARCÍA, J. C. F. 1991. Análisis del proceso de adhesión en el sistema caucho sintético-adhesivo de poliuretano. Tesis de Doctorado, Universidad de Alicante.
44. GONZÁLEZ, K. A. 2002. Caracterización y evaluación de material elastomérico base caucho. Tesis de Maestría, UCLV.
45. GONZÁLEZ, K. A. 2011. Desarrollo de un nuevo material elastomérico para rodillos de diversas aplicaciones industriales. Tesis de Doctorado, UCLV.
46. GREWATTA, H. & BIDEET, D. 2006. Negros de carbono PUREX®. Nuevas soluciones para la industria del caucho. *Revista del Caucho*. España.
47. HEIDEMAN, G., NOORDERMEER, J. W. M., R.N. DATTA, E. & B. VAN BAARLE, E. 2005. Efecto de los óxidos metálicos como activadores en la vulcanización de diversos cauchos con azufre. *Revista del Caucho*. España.
48. HERMIDA, É. B. 2008. MÓDULO MATERIALES POLIMÉRICOS Available: [http://www.isabato.edu.ar/ventana\\_materiales/gu%C3%ADa-did%C3%A1ctica-pol%C3%ADmeros.pdf](http://www.isabato.edu.ar/ventana_materiales/gu%C3%ADa-did%C3%A1ctica-pol%C3%ADmeros.pdf).
49. HERNÁNDEZ, H. & REYES, P. 2007. Fase de Mejora.
50. HERT, M. & ALEX, P. 2001. Procedimiento de preparación de material compuesto constituido por un elastómero vulcanizado asociado a un elastómero termoplástico con secuencias poliamidas y material compuesto así constituido. España patent application.
51. <http://www.quiminet.com/public/EscalasDureza.html>
52. <http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polimeros/tema-3.-elastomeros>
53. [http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap16\\_Elastomeros.pdf](http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap16_Elastomeros.pdf)  
<http://www.mtas.es/insht/copy.htm>
54. <http://www.chemdat.info>

55. IBARRA, L. & ALZORRIZ, M. 2001. Sistemas de vulcanización de cauchos nitrílicos carboxilados (XNBR). *Revista del caucho*, Vol. 472, 10-24.
56. INC., S. 2006. Diseño de Experimentos - Diseño de mezclas. Available: [http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/pluginfile.php/96375/mod\\_resource/content/0/DDE - Disenos de Mezclas.pdf](http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/pluginfile.php/96375/mod_resource/content/0/DDE - Disenos de Mezclas.pdf).
57. ISHIMOTO, T., TADA, H., IWAMOTO, T., KIDO, M., MATSUI, M. & MASUNAGA, H. 1984. Un procedimiento para la producción de un artículo de caucho vulcanizado. Japon patent application.
58. JEAN, C. B. & PIERRE, H. 1990. Composiciones elastoméricas y procedimientos para su preparación. España patent application.
59. JIORINGS Revisado 2018. ELastómeros. La forma más rápida de encontrar una junta.
60. KHANG, T. H. & ARIFF, Z. M. 2011. Vulcanization kinetics study of natural rubber compounds having different formulation variables. *J Therm Anal Calorim* Vol.109, 1545-1553.
61. L.GONZÁLEZ, A.RODRÍGUEZ, J.L.VALENTÍN, MARCOS-FERNÁNDEZ, A. & P. POSADAS 2006. Entrecruzamiento convencional y eficiente del caucho natural. *Revista del Caucho*. España.
62. M.A.MANSILLA, QUASSO, F. & MARZOCCA, A. J. 2007. Caracterización de mezclas vulcanizadas de caucho estireno butadieno y caucho natural.
63. MAIER, M. S. 2012. Polímeros aspectos teóricos elementales. Available: <http://www.detextiles.com/files/ESTRUCTURA%20DE%20LOS%20POLIMERO S.pdf>.
64. MALMIERCA, M. A. 2013. Elastómeros iónicos con memoria de forma estructura, dinámica y propiedades. Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid.
65. MANOSALVAS, E. H. C. 2011. Análisis De Los Elementos Elastómeros Utilizados En Aisladores y Neoprenos. Tesis de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército.

66. MANSILLA, M. A. 2012. Influencia de la microestructura en las propiedades mecánicas y térmicas de mezclas de caucho natural y caucho estireno butadieno. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires.
67. MARIANO. 2013. Tecnología de los plástico [Online]. [Accessed].
68. MARZOCCAA, A. J. 2003. Relación entre la cinética de formación de entrecruzamientos y las propiedades mecánicas de elastómeros vulcanizados.
69. MEMORIAS. 2007. Análisis de riesgos de una planta de química fina ubicada en zona urbana.
70. MENÉNDEZ, G., BONAVENTTI, V. L. & IRASSAR, E. F. 2008. The Experimental Design and the Technology of Concrete. Revista de la Construcción Vol. 7 No 1, 94-104.
71. MORTON, M. 1977. Rubber Technology, Florida, VMR van Nostrand Reinhold, Malabar.
72. MOSCA, D., RAIMONDA, P. & MANTERO, C. 2009. Empleo de la ceniza de cáscara de arroz como carga de un caucho. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, S2 (1), 47-48.
73. NAMPITCH, T. & BUAKAEW, P. 2006. The Effect of Curing Parameters on the Mechanical Properties of Styrene-NR Elastomers Containing Natural Rubber-GraftPolystyrene. Suplemento de Nat. Sci, Vol. 40, 7-16.
74. NOHARA, D., OKA, A., SONOGI, K., TOKUDA, H. & SHIRASAKA, J. 2006. Composición de caucho resistente al envejecimiento por efecto del calor.
75. NC 346:2004: Mezclas de ensayo a Base caucho —preparación, mezclado y vulcanización— Equipos y procedimientos.
76. NC 262:2003: Elastómero, vulcanizado o termoplástico. Determinación de las propiedades en tracción.
77. NC ISO 34-1:2003. Elastómero, vulcanizado o termoplástico. Determinación de la resistencia al desgarro.
78. NC ISO 472: 2003. Plásticos. Vocabulario.

79. NC ISO 4649: 2003. Elastómeros, vulcanizado o termoplástico. Determinación de la Resistencia a la abrasión usando un cilindro giratorio con lámina abrasiva.
80. NC ISO 188: 2005. Elastómeros, vulcanizados o termoplásticos —ensayos de envejecimiento acelerado y resistencia al calor.
81. NC-ISO 3417:2002.
82. P.K.BATRA & PARSAD, R. revisado 2018. Experiments with mixtures.
83. PALMERO, J. M. 2009. Micromecánica de elastómeros porosos y reforzados con fibras. Universidad Politécnica de Madrid.
84. PÉREZ, D. C. O., RUA, M. O. B., GUTIÉRREZ RÔA, D. F. & ESPINAL, A. A. C. 2015. Mixture experiments in industrial formulations *DYNA*, 82, 149-156.
85. POSADA, M. 1999. Análisis y valoración de riesgos en seguridad industrial. Ingeniería Química.
86. QUIMINET. 2015. Los aceleradores y ultra-aceleradores para vulcanización. [Online]. Available: <http://www.quiminet.com> [Accessed].
87. R.LAZIC, Z. 2004. Design of experiments in chemical engineering., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
88. RAMOS, A. 1990. Procedimiento para la valoración cuantitativa de los riesgos. Madrid COASHIQ.
89. ROJAS, J. R. P. 2007. Evaluación de formulaciones de caucho natural con cargas orgánicas e inorgánicas. Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela.
90. ROMERO, D. 2002. Modificación de las propiedades de polipropileno con caucho natural. Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela.
91. S.A, C. D. E. 2015. Fundamento teórico. Available: [http://conformadoelastomeros.com/Conformado\\_de\\_Elastomeros/Informacion\\_de\\_produccion\\_files/fund\\_teorico.pdf](http://conformadoelastomeros.com/Conformado_de_Elastomeros/Informacion_de_produccion_files/fund_teorico.pdf).

92. SALVADOR, B. G. & W, V. O. 2003. Procedimiento para la vulcanización de caucho basado en el empleo de vulcanización que contiene acelerante tatado superficialmente para controlar su reactividad. España patent application.
93. SAMPIETRO, G. & RESCIA, L. 1997. El Caucho.
94. SÁNCHEZ, F. H. 1999. Estudio de la Influencia de Elastómeros en las Mezclas de Polietileno de Alta Densidad y Polipropileno. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana.
95. SANDSTROM, P. H., BLOK, E. J., ZANZIG, D. J., COLVIN, H. A. Y. & SENYEK, M. L. 2006. Mezcla de elastómeros y su uso en neumáticos. 2 251 799.
96. SANTAMARÍA, J. M. & BRAÑA, P. A. 1994. Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química, Madrid, Fundación MAPFRE, S.A.
97. SPINELA, J. 1978. Piezas de caucho.
98. SUÁREZ, E. G. 1983. Detrminación del efecto del incremento de la temperatura en la disminución de los tiempos de cura durante el recape. *Revista Tecnología Química.*, Vol. IV No.1.
99. TORRES, A. F. 2010. Vulcanización de elastómeros con peróxidos orgánicos. Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid.
100. TORRES, R. L., GUZMÁN, M. E. R., COSSIO, F. V. G., GARZA, A. M. & SOLARES, T. E. 2002. A confidence region for the explanatory variables in experiments with mixtures using calibration. *Agrociencia*, Vol.36 No.5, 579-592.
101. VALENÍN, J. L. 2013. Caracterización de látex elastomérico a través de RMM de bajo campo. España patent application.
102. VELÁSQUEZ, S. M. & GIRALDO, D. H. 2014. Chaarcterization and evaluation of vulcanization time for colombian natural rubber from three hevea brasiliensis tree clones. *Ingeniería y Competitividad*, Volumen 16, No. 2, p. 225-233.
103. WIKIPEDIA, E. 2013. Kiwik.

104. YEPES, W. U. 2014. Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de reacción y en las propiedades físico-químicas de un caucho colombiano. Universidad EAFIT.
105. ZAROR, C. A. 2003. Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos.

## GLOSARIO

A continuación se brindan algunos conceptos básicos relacionados con el tema.

**Abrasión:** Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material. (Wikipedia, 2013).

**Aditivo:** Sustancia que se añade a un polímero para mejorar o modificar una o varias de sus propiedades (NC ISO 472, 2003).

**Amorfo:** Que no posee un ordenamiento determinado. Los polímeros son amorfos cuando sus cadenas están entrelazadas de cualquier manera. Los polímeros son no amorfos (cristalinos) cuando sus cadenas se encuentran alineadas en cristales ordenados. (Véase cristalinidad) (Mariano, 2013).

**ASTM:** Son las siglas de *American Society for Testing and Materials*. Es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América. En 2001 la ASTM asume su nombre actual: *ASTM International* como testimonio del interés supranacional que actualmente han alcanzado las técnicas de normalización (Mariano, 2013).

**Banbury:** Aparato para preparar materiales compuestos que constan de dos rodillos que giran en sentido opuesto y que mastican los materiales para formar una mezcla homogénea (Mariano, 2013).

**Biaxial:** Referente a dos ejes. Cuando una película se estira biaxialmente, a lo largo y ancho (Mariano, 2013).

**Calandreo:** Proceso para generar láminas o películas plásticas por medio de una serie de rodillos calientes colocados adecuadamente (Mariano, 2013).

**Carga:** Sólido relativamente inerte que se adiciona a un plástico para modificar su resistencia, estabilidad, condiciones de trabajo u otras características, o para disminuir costos (NC ISO 472, 2003).

**Caucho:** Elastómero que puede ser o ya está en un estado modificado en el que es esencialmente insoluble (pero que se puede hinchar) en un disolvente a ebullición (NC ISO 472, 2003).

**Ciclo:** Una tanda completa de un proceso de conversión intermitente. La tanda puede constar de subdivisiones o etapas que se repiten siempre en la misma secuencia. Los procesos de inyección y de termoformación, por ejemplo, son intermitentes y están conformados por tandas o ciclos de operación secuenciales (Mariano, 2013).

**Cis:** Forma estructural de un doble enlace en el que los grupos funcionales de igual importancia están enfrentados (Hermida, 2008).

**Cristalinidad:** Grado de ordenamiento periódico de las cadenas en una muestra de polímero (Hermida, 2008).

**Curado:** Reacción química que forma polímeros generalmente reticulados o termofijos por polimerización, condensación o por vulcanización; usualmente con la participación de un catalizador, calor y presión, o cualquier combinación de estos últimos (Mariano, 2013).

**Deformación:** Cambio de longitud o forma de un cuerpo producido por una fuerza, referido a su longitud o forma original (NC ISO 472, 2003).

**Deformación Elástica:** Cambio reversible en las dimensiones de un objeto sólido como resultado de la aplicación de una fuerza externa. Cuando la fuerza externa cesa de actuar, el cuerpo sólido regresa a sus dimensiones originales. La fuerza externa puede ser de tensión, compresión o impacto, por ejemplo (Mariano, 2013).

**Deformación Plástica:** Cambio irreversible en las dimensiones de un objeto sólido como resultado de la aplicación de una fuerza externa sobre él; por ejemplo, fuerza de tensión, compresión o impacto (Mariano, 2013).

**Degradación:** Descomposición de la estructura molecular de una resina por la acción del calor, luz u otro agente agresivo (Mariano, 2013).

**Delaminación:** Separación parcial o completa frecuentemente causada por falta de adhesión en materiales laminados. La resistencia a la delaminación de estructuras flexibles multicapa depende de las diferentes condiciones en que fueron unidos los films simples, así como de los tratamientos superficiales a los que fueron sometidos, presencia de impresión, mezcla inadecuada de los componentes del adhesivo, o falta de curado, y de las condiciones de aplicación del adhesivo (Mariano, 2013).

**Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo (Mariano, 2013).

**DIN:** Siglas de *Deutschen Instituts für Normung*. Es el organismo nacional de normalización de Alemania (Mariano, 2013).

**Dureza:** Resistencia de un material a la compresión o indentación. Existen varias escalas para medir la dureza: Brinell, Rockwell, Shore, etc. (Mariano, 2013).

**Elasticidad:** Propiedad original de los elastómeros gracias a la cual recupera su forma original al deformarlo (AMC, 2015).

**Elastómero:** Material macromolecular que vuelve rápidamente a sus dimensiones y forma iniciales después de una deformación sustancial mediante un esfuerzo pequeño y la retirada de este esfuerzo (NC ISO 472, 2003).

**Entrecruzamiento:** Unión molecular entre cadenas de polímeros (NC ISO 472, 2003).

**Estrusión:** Estiramiento de un polímero para crear una fibra. (Hermida, 2008).

**Fórmula másica:** Cantidad total en gramos de todos los componentes de una fórmula, referidos a 100 gramos de polímero caucho o caucho extendido en aceite (NC 346: 2004).

**Fuerza elástica:** Fuerza de recuperación de un elastómero al aplicarle una fuerza externa. Esta fuerza se crea por las propiedades elásticas del elastómero (AMC, 2015).

**Fuerzas de Van der Waals:** es la fuerza atractiva o repulsiva entre moléculas (o entre partes de una misma molécula). Son relativamente débiles comparadas con los enlaces químicos normales, pero juegan un rol fundamental en campos tan diversos como química supramolecular, biología estructural, ciencia de polímeros, nanotecnología, ciencia de superficies y física de materia condensada (Mariano, 2013).

**ISO:** Organización Internacional de Normalización, es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación (tanto de productos como de servicios), comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones (públicas o privadas) a nivel internacional (Mariano, 2013).

**Isómeros:** Moléculas con la misma fórmula química pero con diferente distribución espacial de los átomos que la constituyen (Hermida, 2008).

**Mezcla:** Masa de mezcla de ensayo preparada cuando se hace una operación de mezclado (NC 346: 2004).

**Moldeo:** Proceso de dar forma a un material mediante un molde, generalmente con aplicación de presión y casi siempre calor (NC ISO 472, 2003).

**Monómero:** Producto constituido por moléculas, cada una de las cuales puede dar lugar a una o más unidades estructurales (NC ISO 472, 2003).

**p.p.c.c:** El término se refiere a “partes de material por 100 partes en peso de caucho”.

**Pigmento:** son sólidos finamente divididos que se agregan para colorear.

**Polimerización:** Proceso de transformación de un monómero, o mezcla de monómeros en un polímero (NC ISO 472, 2003).

**Polímero:** Producto formado por moléculas caracterizadas por la repetición múltiple de una o más especies de átomos o grupos de átomos (unidades estructurales) unidos entre sí en cantidad suficiente como para proporcionar un conjunto de propiedades que no varían prácticamente con la adición o eliminación de una o unas pocas de sus unidades estructurales (NC ISO 472, 2003).

**REDOX:** Se denomina reacción de reducción-oxidación, óxido-reducción, o simplemente reacción redox, a toda reacción química en la cual existe una transferencia electrónica entre los reactivos, dando lugar a un cambio en los estados de oxidación de estos con respecto a los productos (Mariano, 2013).

**Relación de Poisson:** Parámetro adimensional dado por el cociente entre la contracción lateral y la deformación axial cuando se aplica a un sólido un esfuerzo de deformación en la dirección axial:  $\nu = \text{contracción lateral} / \text{deformación axial}$ . Sus valores varían entre cero (sólidos rígidos incompresibles) hasta 0,5 (elastómeros). Estos valores marcan los límites entre los sólidos que no presentan deformación lateral y aquellos, como los elastómeros, se deforman sin cambio de volumen. Para polímeros cristalinos y vítreos, el valor de  $\nu$  oscila entre 0,2 y 0,35 (Mariano, 2013).

**Reómetro:** Equipo empleado para medir la viscosidad de los plásticos fundidos, es el aparato más empleado para determinar el comportamiento reológico de un plástico. El material es fundido en un cilindro provisto de un termómetro y resistencias eléctricas, después se hace pasar por un orificio gracias a la acción de un peso; también es llamado "plastómetro" (Mariano, 2013).

**Resiliencia:** Propiedad de un material, generalmente espumado, de recobrar su forma original después de someterse a cualquier distorsión (Mariano, 2013).

**Resina:** Fluido polimérico denso, viscoso, natural o sintético con alto peso molecular (Mariano, 2013).

**Resistividad:** Habilidad de un material para resistir el paso de corriente eléctrica a través de su volumen o superficie. La unidad de resistividad volumétrica es de ohm cm o de resistividad superficial de ohm (Mariano, 2013).

**Reticulación:** Formación de enlaces cruzados entre las cadenas de polímero que le dan a este rigidez (Hermida, 2008).

**Temperatura de Fusión:** Es la temperatura a la cual un material cambia del estado sólido al líquido (Mariano, 2013).

**Temperatura de transición en vítrea:** Punto medio aproximado del intervalo de temperatura al que tiene lugar la transición vítrea. (NC ISO 472, 2003).

**Temperatura de Transición Vítrea:** La temperatura a la cual un polímero de estructura amorfa cambia del estado de sólido duro y frágil al de un material que se asemeja a la del caucho por su condición viscosa y elastomérica. En termodinámica se describe como una transición de segundo orden, donde no hay un cambio brusco de las variables

termodinámicas, sino que un cambio en la tendencia del comportamiento de estas (Mariano, 2013).

Es un parámetro de particular interés en la manufactura de polímeros sintéticos. Se la define como la temperatura a la cual se produce la transición de comportamiento elastomérico (o tipo goma) a comportamiento vítreo, la cual presenta cierta correlación con la transición dúctil-frágil que se manifiesta en los metales. Esta temperatura puede modificarse mediante cambios en el grado de ramificación o entrecruzamiento o mediante el agregado de plastificantes.

**Tensión:** Grado de fuerza ejercida sobre un objeto dividida por el área transversal de este. El área transversal es el área de una sección transversal del objeto en un plano perpendicular a la dirección de la fuerza. La tensión generalmente es expresada en unidades de fuerza dividida por área, como  $\text{N/cm}^2$  (Mariano, 2013).

**Termofijo:** Material con enlaces químicos entrecruzados que no tiene la propiedad de fundirse a ninguna temperatura. A altas temperaturas se descompone (Mariano, 2013).

**Termopar:** Elemento de medición de la temperatura (también llamado termocupla), que consta de un par de metales que al dilatarse por efecto del calor, envían una señal eléctrica proporcional a la temperatura a la que se encuentren (Mariano, 2013).

**Termoplástico:** Material plástico cuyas moléculas no están entrecruzadas con enlaces químicos y, por lo tanto, tienen la libertad de fluir libremente cuando se calientan. Los materiales termoplásticos se pueden fundir (Mariano, 2013).

**Transición vítrea:** Cambio reversible en un polímero amorfo o en regiones amorfas de un polímero parcialmente cristalino, desde un estado viscoso o viscoso-elástico a un estado vítreo y relativamente frágil (NC ISO 472, 2003).

**Van der Waals:** ver Fuerzas de Van der Waals (Mariano, 2013).

**Velocidad de Deformación:** En flujo laminar, variación de la velocidad local de un fluido en movimiento con respecto a un punto fijo de referencia localizado dentro del fluido (Mariano, 2013).

**Viscoelástico:** Material que se comporta en forma elástica (sigue la ley de Hooke) y como material viscoso (sigue la ley de Newton de flujo laminar) (Mariano, 2013).

**Viscosidad:** Medida de la fricción interna de un fluido y que está relacionada con la resistencia del fluido al movimiento (Mariano, 2013).

**Vulcanización:** Procedimiento químico de reticulación para la producción de caucho elástico (Mariano, 2013).

**Zona de Mezclado:** Sección del husillo donde el plástico se somete a esfuerzos mediante un maquinado especial; existen diversos diseños de estas zonas de acuerdo con las necesidades del material a procesar y del producto. (Mariano, 2013)

## DE LOS AUTORES

### **Dra. C. Blanca Rosa Cruz Cal**

Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). UCLV. Carretera a Camajuaní, km 5½ Santa Clara, Villa Clara. Teléfono: 281510

email: [blancacc@uclv.edu.cu](mailto:blancacc@uclv.edu.cu).

Ingeniera Mecánica en 2000. Profesora Auxiliar del Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, desde 2004. Máster en Ingeniería Mecánica Mención Diseño Mecánico. Doctora en ciencias en 2019. Experiencia docente en las asignaturas Ingeniería de los Materiales, Ingeniería de los Procesos II y Transferencia de Calor. Vinculado a la línea e investigación universitaria *Protección ambiental para el desarrollo sostenible* trabajando específicamente en las temáticas de análisis de riesgo tecnológico y ambiental y en el desarrollo de nuevos materiales elastoméricos. Tutora de varios proyectos de curso a alumnos de Ingeniería Química y de tesis de grado. Participación en varios eventos científicos de carácter nacional e internacional. Publicaciones científicas en revistas científicas internacionales y en memorias de CD.

### **Dr.C. Ricardo Alfonso Blanco**

Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial (FIMI), UCLV, Carretera a Camajuaní km 5½ Santa Clara. Villa Clara. Teléfono: 281630

email: [ralfonso@uclv.edu.cu](mailto:ralfonso@uclv.edu.cu)

Licenciado en Educación en 1983, Ingeniero Mecánico en 1987. Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, desde 1986. Máster en Ingeniería Mecánica Mención Procesos Tecnológicos en 1996, Doctor en Ciencias en 2008. Jefe del Departamento de Ingeniería Mecánica desde 2017. Experiencia docente con más de 30 años en los Procesos de Manufactura con énfasis en la fabricación de piezas por maquinado y los procesos de conformación de materiales. Vinculado a las líneas de investigación de nuevos materiales elastoméricos y en los procesos de manufactura con sistemas CAD/CAM/CAE. Tutor de varios proyectos de curso, tesis de diploma, de maestría y de doctorado. Participación en varios eventos científicos de carácter nacional e internacional. Publicaciones científicas en revistas científicas internacionales y en

memorias de CD. Profesor invitado en la Universidad Nacional de Ingeniería en Managua Nicaragua, en la Escuela Superior de Tecnología de la Universidad del Estado del Amazonas en Brasil, y en la Universidad Politécnica Territorial del Estado de Aragua “Federico Brito” en Venezuela.

**Dra. C. Belkis Fabián Guerra Valdés**

<sup>(1)</sup>Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA), UCLV, Carretera a Camajuaní km 5½ Santa Clara, Villa Clara. Teléfono: 42281510

**email:** [belkisgv@uclv.edu.cu](mailto:belkisgv@uclv.edu.cu).

Ingeniera Química en 1988. Profesor Titular del Centro de Estudio de Química Aplicada de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Máster en Análisis de Procesos en 1999. Doctora en ciencias en 2001. Experiencia docente en Ingeniería de Procesos, Estadística y Transferencia de Calor. Vinculado a la línea e investigación universitaria *Protección ambiental para el desarrollo sostenible* trabajando específicamente en las temáticas de análisis de riesgo tecnológico y ambiental y en el desarrollo de nuevos materiales elastoméricos. Tutora de varios proyectos de curso de estudiantes de Ingeniería Química, Trabajos de Diploma, además de la tutoría de tesis de maestría y de doctorado. Participación en varios eventos científicos de carácter nacional e internacional. Publicaciones en revistas científicas internacionales y en memorias de CD.