

Artículo Original

ANÁLISIS DE RIESGO DE UNA PLANTA PARA PRODUCCIÓN DE GOMA VULCANIZADA

RISK ANALYSIS OF A PLANT FOR THE PRODUCTION OF VULCANIZED RUBBER

Blanca Rosa Cruz Cal^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6013-4500>

Belkis F. Guerra Valdés² <https://orcid.org/0000-0002-9929-7064>

Ricardo Alfonso Blanco³ <https://orcid.org/0000-0001-9452-4531>

Eusebio Vladimir Ibarra Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0001-8119-8431>

Marlene Dupin Fonseca¹ <https://orcid.org/0000-0002-8366-7489>

¹Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Facultad de Química y Farmacia.

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia.

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

³ Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial.

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

Recibido: Septiembre 9, 2025; Revisado: Octubre 2, 2025; Aceptado: Octubre 23, 2025

RESUMEN

Introducción:

Los compuestos de goma son esenciales en nuestro país debido a su alta demanda y versatilidad en aplicaciones industriales. Por ello, es crucial desarrollar una planta de producción de goma vulcanizada utilizando herramientas de análisis de riesgo tecnológico que aseguren su seguridad, eficiencia y sostenibilidad.

Objetivo:

Evaluar los riesgos tecnológicos durante la fase de diseño de la planta para la producción de goma vulcanizada, proponiendo modificaciones o determinando su viabilidad.

Materiales y Métodos:

Se emplearon dos herramientas de evaluación de riesgos: el método Hazop y la matriz de riesgo, con el uso del software AROJAM 1.0. El proceso contó con la participación de siete expertos, un nivel de confianza del 99%, una precisión del 10% y un margen de error del 1%. Se analizaron 113 desviaciones, clasificándolas en zonas de riesgo según su gravedad.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional*, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Blanca R. Cruz, Email: blancacc@uclv.edu.cu



Resultados y Discusión:

Los resultados mostraron que ninguna de las 113 desviaciones analizadas se ubicaron en la zona roja, lo que indica la ausencia de riesgos críticos o inaceptables. El 43% de las desviaciones se clasificaron como “tolerables”, el 31% como “aceptables” y el 26% como “indeseables”. Esto sugiere que, aunque no hay riesgos inaceptables, es necesario implementar medidas correctivas para gestionar las desviaciones en las zonas “tolerables” e “indeseables”, optimizando así la seguridad y eficiencia del proceso.

Conclusiones:

El proyecto es viable, pero se recomienda aplicar acciones correctivas para mitigar los riesgos identificados, garantizando un funcionamiento seguro y sostenible de la planta de producción de goma vulcanizada.

Palabras clave: análisis; consecuencia; frecuencia; planta; riesgo.

ABSTRACT

Introduction:

Rubber compounds are essential in our country due to their high demand and versatility in industrial applications. Therefore, it is crucial to develop a plant for the production of vulcanized rubber using technological risk analysis tools that ensure its safety, efficiency, and sustainability.

Objective:

To evaluate the technological risks during the design phase of the plant for the production of vulcanized rubber, proposing modifications or determining its feasibility.

Materials and Methods:

Two risk assessment tools were used: the Hazop method and the risk matrix, supported by the AROJAM 1.0 software. The process involved the participation of seven experts, a confidence level of 99%, a precision of 10%, and a margin of error of 1%. A total of 113 deviations were analyzed, classifying them into risk zones according to their severity.

Results and Discussion:

The results showed that none of the 113 deviations analyzed were located in the red zone, indicating the absence of critical or unacceptable risks. 43% of the deviations were classified as “tolerable”, 31% as “acceptable”, and 26% as “undesirable”. This suggests that, although there are no unacceptable risks, it is necessary to implement corrective measures to manage deviations in the “tolerable” and “undesirable” zones, thus optimizing the safety and efficiency of the process.

Conclusions:

The project is viable, but it is recommended to apply corrective actions to mitigate the identified risks, ensuring the safe and sustainable operation of the vulcanized rubber production plant.

Keywords: analysis; consequence; frequency; plant; risk.

1. INTRODUCCIÓN

Los compuestos de goma revisten de una gran importancia para Cuba país debido a su gran demanda, esto se debe a sus múltiples aplicaciones debido a la versatilidad de sus propiedades fisco-químicas y mecánicas. En el artículo se realiza un análisis de riesgo a través del método de Hazop (*Hazard and Operability*) y matriz de riesgo, los cuales se encuentran dentro de los métodos más generalizados. La selección de uno u otro método depende de factores como: la disposición de recursos adecuados, tiempo y experiencia, presupuesto, la naturaleza y el grado de la incertidumbre de los datos, la información disponible y la complejidad de los riesgos.

Los métodos de análisis de riesgo son técnicas que se emplean para evaluar los riesgos de un proyecto o un proceso. Estos métodos ayudan a tomar decisiones que permiten implementar medidas de prevención para evitar peligros potenciales o reducir su impacto.

Hazop: Fue desarrollado en el Reino Unido en el año 1963, por la compañía ICI (*Imperial Chemical Industries*). Según (Concepción et al., 2018), (Ibarra et al., 2015), Ramírez (2025), (Rodríguez et al., 2024) el Hazop está entre las técnicas de uso más frecuente. El objetivo es identificar los potenciales riesgos en las instalaciones y evaluar los problemas de operabilidad. Estos deben ser analizados cuando éstos tienen impacto negativo en la rentabilidad de la instalación o conducen también a riesgos. El análisis de Hazop se basa en identificar cuatro elementos clave: la causa que da origen a la desviación y que puede ser básicamente por error humano, por falla de los equipos o proceso o falla externa, las consecuencias resultantes de esa causa, las salvaguardas identificadas para mitigar o atender la consecuencia y las recomendaciones a implementarse para mitigar, eliminar o administrar el riesgo, todo esto analizando metodológicamente el proceso (Aguilar et al., 2021).

Las publicaciones más recientes plantean:

Paladines & Castro, (2025) el análisis de Hazop tiene amplio reconocimiento por su gran capacidad en la identificación exhaustiva de posibles desviaciones en la operatividad de los procesos dando de esta forma los fundamentos sólidos para implementar medidas de control. Según (Barros et al., 2023) el análisis consiste en dividir el proceso en nodos de análisis o unidad del proceso y por evaluaciones de profesionales, identificar las posibles situaciones peligrosas. Finalmente se toman medidas para identificar los cambios y las desviaciones.

Penelas & Pires, (2021), plantean que el HAZOP es una técnica eficiente y bien organizada pero presenta limitaciones, entre ellas: los equipos de trabajos pueden perder escenarios y descuidar reflexiones posteriores, pueden volverse complacientes, el proceso puede ser complejo, el tiempo necesario para realizar un examen completo de la instalación, los equipos con menos experiencia carecen de conocimientos para comprender los problemas.

Entre sus ventajas están: se puede aplicar indistintamente a todo tipo de instalaciones ya sean nuevas, existentes o en casos de modificaciones de unidades en operación, es una herramienta muy poderosa a la hora de identificar y reducir los riesgos de cualquier proceso productivo. Puede realizarse uno o más estudios de Hazop durante el desarrollo del proyecto incluyendo la etapa de ingeniería.

1.1. Matriz de riesgo

El análisis y evaluación de riesgo es el proceso que permite, cuantificar los riesgos en base al producto del cálculo de la probabilidad, de que el accidente tenga lugar en un período de tiempo determinado y la intensidad o severidad del mismo en función de la magnitud de las consecuencias sobre los elementos vulnerables, especialmente del número de personas expuestas. El valor de este producto es un indicador de la peligrosidad que se compara con una escala esto es lo que se conoce como matriz de riesgo, Palisade (2016).

La idea es aceptar un determinado nivel de riesgo en esta escala, esto permite cumplir los requisitos legales y priorizar las actuaciones e inversiones en seguridad para reducir y limitar los riesgos hasta ese nivel determinado. Santamaría & Braña, (1994) y Zaror (2003). Estos valores se utilizan para definir los límites de las zonas de riesgo al estimarse la vulnerabilidad con modelos de cálculo.

La definición de los límites para el cálculo de la frecuencia y de las consecuencias debe realizarse para cada proceso de forma particular pues depende de criterios específicos como por ejemplo las sustancias involucradas, las operaciones, los sistemas de control, sistemas auxiliares, calidad del producto final, valor de la producción, etc., por lo que es importante definir valores que caractericen a cada proceso para lo que se recomienda crear un grupo de expertos que defina estos criterios para crear la matriz de riesgo.

De esta matriz surge el “ranking de riesgo” como producto de la “probabilidad o frecuencia” y “severidad o consecuencia” que el equipo le asigna a la ocurrencia de dicho evento.

La identificación de peligros en el análisis de riesgo es una de las etapas fundamentales. Todos aquellos que no sean identificados, no serán considerados, por lo tanto, no se tomará medidas para reducir sus riesgos asociados. Según Zaror (2003), (Viña et al., 2021) y (Espitia & Vargas, 2022) proponen 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.

El objetivo del presente trabajo es evaluar los riesgos tecnológicos durante la fase de diseño de la planta para la producción de goma vulcanizada, proponiendo modificaciones o determinando su viabilidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon dos herramientas de evaluación de riesgos: el método Hazop y la matriz de riesgo, apoyadas con el software AROJAM 1.0. La utilización del método Hazop parte del análisis *What if?* realizado con anterioridad. El análisis de Hazop se basa en identificar cuatro elementos claves: la fuente o causa del riesgo, la consecuencia, impacto o efecto resultante de la exposición a este riesgo, las salvaguardas o controles existentes, y las recomendaciones o acciones que pueden proponerse. Además, se obtiene la matriz de riesgo herramienta fundamental pues ofrece una visión clara y estructurada de los posibles escenarios de riesgo, facilitando la toma de decisiones informadas y proactivas. Al clasificar los riesgos según su probabilidad e impacto, la matriz ayuda a determinar cuáles requieren medidas inmediatas y cuáles pueden ser monitoreados o aceptados. Esto no solo contribuye a la seguridad y eficiencia del

proyecto, sino que también minimiza costos asociados a fallos o imprevistos, asegurando la sostenibilidad y viabilidad a largo plazo.

2.1. Equipo de trabajo

El equipo de trabajo fue integrado por especialistas en la temática de riesgo del Centro de Estudios de Química Aplicada, CEQA de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas y especialistas del Laboratorio de la Fábrica de Calzado Vulcanizado “Tres Mártires” de Villa Clara, Cuba, teniendo en cuenta las particularidades del proceso (conocimiento teórico) y la experiencia práctica de los especialistas y técnicos. (Ver tabla 1).

En el contexto cubano, la gestión de riesgos se enmarca en la NC-ISO 31000, (2018) y es un requisito legal del Decreto-Ley 142, (2021).

A través de la ecuación (1) se calculó el número de expertos para conformar el equipo de trabajo.

$$m = \frac{P(1-P)K}{i^2} \quad (1)$$

Donde: m: número de expertos, i: Nivel de precisión deseado (0,1), P: Proporción estimada de errores de los expertos (0,01), K: Constante el valor está asociado al nivel de confianza seleccionado (1- α =0,99), K= 6,6564.

Tabla 1. Equipo de trabajo para el análisis de riesgo

<i>Caracterización de los expertos que participaron en la consulta</i>				
	<i>Categoría docente y/o cargo</i>	<i>Calificación profesional</i>	<i>Años de experiencia</i>	<i>Sexo</i>
1	Profesor Titular	Ingeniera Química-Doctora-Máster	25	F
2	Profesor Titular	Ingeniero Mecánico-Doctor- Máster	25	M
3	Profesor Titular	Ingeniero Mecánico- Doctor	25	M
4	Profesor Auxiliar	Ingeniero Mecánico-Máster	20	M
5	Profesor Auxiliar	Ingeniera Mecánica-Máster	17	F
6	Profesor Asistente	Ingeniera Mecánica-Máster	20	F
7	Tecnólogo	Ingeniera Química	30	F

Se trabajó con siete (7) expertos, resultado del cálculo para un nivel de confianza de 99%, precisión deseada de 10% y 1% de proporción de errores.

$$K = \frac{1}{2}(K_c + K_a) \quad (2)$$

Donde: K: coeficiente de competencia, Kc: se calcula a partir de la autovaloración que realiza el propio experto en una escala 0-10, multiplicado por (0,1), Ka: se obtiene a partir de la autoasignación por parte del experto de puntuaciones a distintas fuentes de argumentación en las que se basa su conocimiento experto.

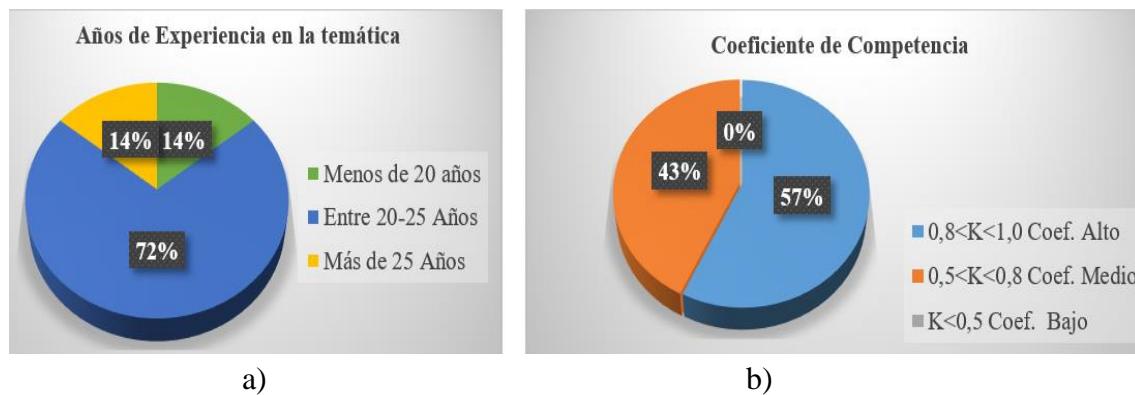


Figura 1. a) Por ciento de experiencia de los expertos. b) Por ciento de coeficiente de competencia de los expertos

2.2. Definición de las áreas de riesgo, unidades y nodos de la planta para producción de goma vulcanizada

A partir del diagrama de bloque representado en la Figura 2, se identificaron las áreas generales de riesgo para evaluar los peligros potenciales probables. Para ello se tuvo en cuenta la producción a realizar, las materias primas que se almacenan, manipulan y se utilizan, las operaciones involucradas en el proceso productivo, así como la ubicación de los equipos y su disposición en planta.

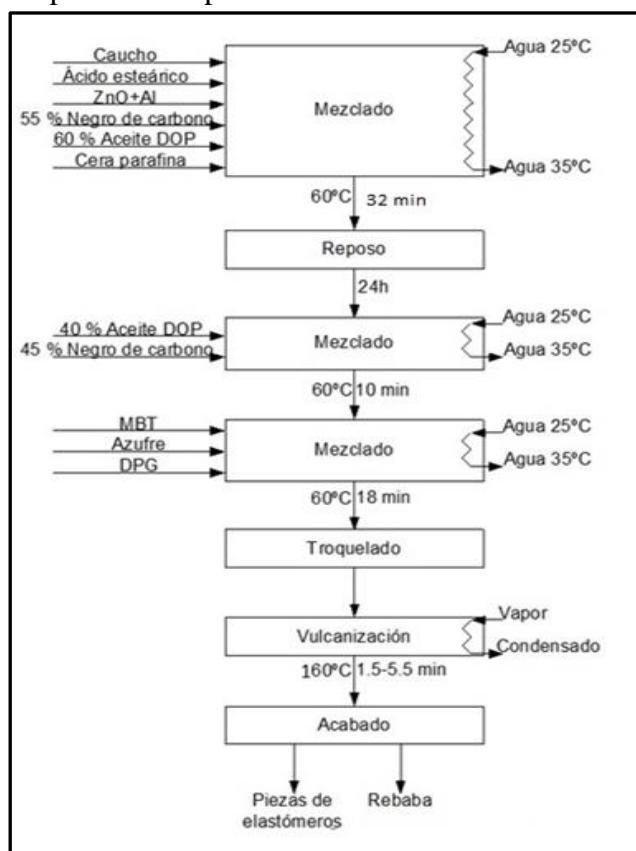


Figura 2. Microestructura del proceso productivo

Se declaran nueve (9) áreas generales de riesgo (Tabla 2), de igual forma se distribuyen las unidades y los nodos, todo lo cual permitió la aplicación del análisis de riesgo operacional con el método Hazop por su idoneidad para evaluar procesos químicos complejos, permitir realizar una identificación sistemática y exhaustiva de peligros.

Además, por servir como base para la etapa posterior que es la aplicación de la matriz de riesgo. Similar proceso se realizó por Renteria (2022), (Oliveira et al., 2023), (Oliveira et al., 2025) en cuanto a división de nodos.

Finalmente quedan un total de nueve (9) áreas de riesgo, 28 unidades y 15 nodos, a partir de los cuales se comienzan a definir las posibles desviaciones operacionales del proceso (flujo, temperatura, presión, etc.). En este caso se analizaron un total de 113 desviaciones, lo cual permitió un análisis de riesgo operacional detallado de la planta de producción de goma vulcanizada.

Tabla 2. Nodos y unidades de proceso correspondiente a las áreas de riesgo

<i>Nodos</i>	<i>Área</i>	<i>Unidad</i>
Nodo 1. Local de almacenamiento.	Área de almacén de materias primas (AR-1)	Almacén.
Nodo 2. Acondicionamiento del negro de humo.	Área de preparación de las materias primas (AR-2)	Local de preparación de las materias primas, balanzas y estufa.
Nodo 3. Tolerancia de pesaje.		
Nodo 4. Alimentación de materias primas.		
Nodo 5. Manipulación de la materia prima en el mezclador.	Área de Mezclado (AR-3)	Bomba centrífuga, Mezclador banbury, breaker y meseta.
Nodo 6. Mezclador interno.		
Nodo 7. Local de reposo de la materia prima.	Área de reposo (AR-4)	Meseta y estantes.
Nodo 8. Manipulación de la maestra 2 en el mezclador.	Área de molino de rodillo (AR-5)	Meseta, molino de rodillo y breaker.
Nodo 9. Mezclador rodillo.		
Nodo 10. Manipulación del troquel.	Área de troquelado (AR-6)	Mesa de trabajo y troquel.
Nodo 11. Manipulación del molde.	Área de vulcanización (AR-7)	Prensa, breaker, molde, válvula de tubería de vapor y meseta.
Nodo 12. Tubería de vapor.		
Nodo 13. Prensa.		
Nodo 14. Control primario de calidad de maestra y piezas acabadas.	Área de acabado (AR-8)	Mesetas, durómetro, Máquina de tracción, Máquina de abrasión (abrasómetro), balanza y breaker.
Nodo 15. Manipulación de la muestra maestra o las piezas.	Área de almacenamiento de la maestras o piezas (AR-9)	Meseta y estantes

2.3. Definición de los niveles de gravedad y frecuencia de ocurrencia de posibles accidentes

Para la estimación de la gravedad de las consecuencias probables y de la frecuencia de ocurrencia de un accidente se tomaron las consideraciones asumidas por consenso del equipo de trabajo.

Consecuencia

1. Daño insignificante: Molestias menores, efectos locales, no produce contaminación. No se afecta la producción.
2. Daño limitado: Pérdidas de días de trabajo por problemas operacionales. Contaminación simple con efectos locales. Parada de la planta de 1 a 4 horas. Pérdidas: de hasta mil dólares.
3. Daño serio: Algunas heridas leves, lesiones incapacitantes a uno o varios trabajadores. Contaminación simple con efectos externos. Parada de la planta de 4 a 8 horas. Pérdidas: >mil y <10 mil dólares.
4. Daño muy serio: Heridas graves, daños serios a los trabajadores uno o más. Contaminación seria con efectos locales. Parada de la planta de 8 a 24 horas. Pérdidas: de 10 mil hasta 50 mil dólares.
5. Daño catastrófico: Muertes (>1); Heridos (>10); Cientos de evacuados (>100). Contaminación seria con efectos externos. Afectaciones serias a la producción, parada de la planta más 24 horas o afectaciones a la capacidad de producción (>2%). Pérdidas >50 mil dólares

Frecuencia

1. Improbable: Puede ser asumido como algo que no pasará, pero ocurre por causas no explicadas en análisis preliminar desde el punto de vista técnico. (>10 años)
2. Extremadamente raro: Posible que ocurra en la vida útil de la Planta, pero con probabilidad remota al estar tomadas las medidas que eviten el desarrollo de la misma. (>5≤10 años)
3. Raro: Ocurre raras veces, generalmente por descuido y falta de atención por parte del hombre. (>1≤5 años)
4. Possible: Exposición permanente al factor de riesgo en cuestión por falta de medios o medidas de seguridad y/o posibilidad de ocurrencia de un hecho al estar en un medio propicio para ello. (>1mes≤1año)
5. Frecuente: Ocurre frecuente, con gran facilidad e independiente de la voluntad del hombre. (≤1mes)

Quedando la clasificación del riesgo en cuatro niveles, según se muestra en la Tabla 3 donde se definen además las acciones a acometer en cada nivel de riesgo.

Tabla 3. Niveles de clasificaciones del riesgo

Nivel de riesgo	Clasificación	Descripción de las acciones a realizar
A	Inaceptable	Hay que rediseñar el sistema para que el riesgo quede en la zona C como máximo.
B	Indeseable	Las consecuencias del escenario propuesto durante el Hazop deben ser mitigadas proponiendo nuevas protecciones que aseguren alcanzar como mínimo una categoría “C” en esta

C	Tolerable	El diseño es aceptable en su forma actual aunque se debería trabajar en disminuir la frecuencia o las consecuencias lo máximo que sea razonablemente posible.
D	Aceptable	El diseño es aceptable en su forma actual sin acciones adicionales ni nuevas protecciones.

2.4. Matriz de riesgo

Partiendo de lo anterior se aplicó el software AROJAM 1.0, definiendo las causas, consecuencias y probabilidad de cada una de las desviaciones analizadas, obteniendo como resultado la matriz de riesgo por cada área y finalmente la matriz general del proceso.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del AROJAM 1.0 se obtuvo la matriz general de riesgo del proceso de producción de goma vulcanizada (Figura 3), donde quedan ubicados en las diferentes zonas de aceptabilidad, los riesgos evaluados según las desviaciones analizadas. Esto ofrece importante información a los directivos de la futura planta, al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), al Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS), y al cuerpo de bomberos y gobiernos locales para la toma de decisiones. Permitió valorar el peso que tiene la frecuencia y la consecuencia en cada desviación, lo que facilita la decisión de trabajar sobre el riesgo en cuanto a minimizar los daños en caso de ocurrencia con medidas de protección o trabajar en disminuir la frecuencia de ocurrencia de las desviaciones.

Matriz general de riesgo					
Frecuente	1	6	0	0	0
	0	39	11	0	0
	0	31	8	12	0
	0	0	3	0	0
	0	0	0	1	1
	Daño Insignificante	Daño Limitado	Daño serio	Daño muy serio	Catastrófico
	1	2	3	4	5
Consecuencias					

Figura 3. Matriz general de riesgo del proceso de producción de goma vulcanizada

Tabla 4. Resumen de la distribución de los riesgos del proceso de producción de goma vulcanizada según los niveles de riesgo

Nivel de riesgo	Cantidad de desviaciones	Clasificación
A	0	Inaceptable
B	29	Indeseable
C	49	Tolerable
D	35	Aceptable
Total	113	-

Analizando los resultados obtenidos se tiene que de las 113 desviaciones quedan distribuidas de la siguiente manera: 29 en la zona naranja (riesgo indeseable), 49 en la zona amarilla (riesgo tolerable), y 35 en la zona verde (riesgo aceptable); ninguna desviación o factor de riesgo queda en la zona roja, lo que evidencia que no existen riesgos inaceptables o críticos (Tabla 4), demostrándose la viabilidad del proyecto desde una perspectiva de seguridad.

Dentro de las 29 desviaciones que se encuentran en el nivel de riesgo B (riesgo indeseable), (11) de ellas corresponden al **AR-5**, ocho (8) al **AR-7**, y seis (6) al **AR-3**, para un (86,20%), las demás se distribuyen por las restantes áreas de riesgo, en todos los casos las consecuencias del escenario propuesto deben ser mitigadas proponiendo nuevas protecciones que aseguren minimizar el nivel de riesgo.

Por otra parte, en la Tabla 5 se muestra el total de los valores estimados por la severidad y por cada frecuencia, queda claro que la mayoría de las desviaciones analizadas su frecuencia fue estimada en raro (45,13%) o posible (44,24%) en total ambas representan un 89,37% de las desviaciones analizadas.

En cuanto a las consecuencias solo una alcanzó el nivel de catastrófico. Los mayores valores corresponden a daño limitado con un 67,26% dado fundamentalmente en el área de vulcanización por la manipulación de los moldes y las pérdidas económicas que se pueden generar por las paradas de planta.

Tabla 5. Total de los daños por cada frecuencia estimada

Frecuencia	Total (%)	Consecuencias	Total (%)
Frecuente (5)	7 (6,19)	Catastrófico (5)	1 (0,9)
Possible (4)	50 (44,24)	Daño muy serio (4)	13 (11,5)
Raro (3)	51(45,13)	Daño serio (3)	22 (19,47)
Extremadamente raro (2)	3(2,65)	Daño Limitado (2)	76 (67,26)
Improbable (1)	2(1,77)	Daño Insignificante (1)	1 (0,9)

3.1. Panorama de Riesgo

Del análisis Hazop con el software AROJAM 1,0 se obtuvo como resultado el panorama de riesgo que se presentan en la Tabla 6, dando la distribución de los riesgos por los distintos niveles definidos anteriormente. Como se puede observar hay (4) áreas de mayor cantidad de desviaciones, la mayor cantidad de desviaciones analizadas es de (32) en el área de mezclado (**AR-3**) que representa el 28,31% del total de las desviaciones. Luego el área de preparación de materias primas (**AR-2**) con (23) desviaciones para un 20,35%, seguidamente el área de vulcanización (**AR-7**) con 20 desviaciones para un 17,69% y por último el área de molino de rodillo (**AR-5**) con 18

desviaciones para un 15,92%. El resto de las áreas representa individualmente un mínimo por ciento del total.

Tabla 6. Panorama de riesgo por áreas

Áreas de riesgo	Nivel A	Nivel B	Nivel C	Nivel D	Total
AR1	0	0	3	0	3
AR2	0	0	1	22	23
AR3	0	6	17	9	32
AR4	0	0	3	1	4
AR5	0	11	6	1	18
AR6	0	1	0	2	3
AR7	0	8	12	0	20
AR8	0	1	4	0	5
AR9	0	2	3	0	5
Niveles	0	29	49	35	113

A continuación, en la Figura 4 se muestra en forma gráfica los resultados del Hazop que proporciona el panorama de riesgo general de la instalación analizada, como se puede observar la mayor cantidad de factores de riesgo se encuentran en el nivel C (tolerable), y ninguno en el nivel A (inaceptable). En la Figura 5 se resume todo el análisis de riesgo tanto por área como por nivel.

Los riesgos tolerables a menudo ocultan una carga psicosocial significativa para los operarios, quienes deben mantener una vigilancia constante. Por lo que se recomienda realizar análisis con evaluaciones ergonómicas y de factores humanos.

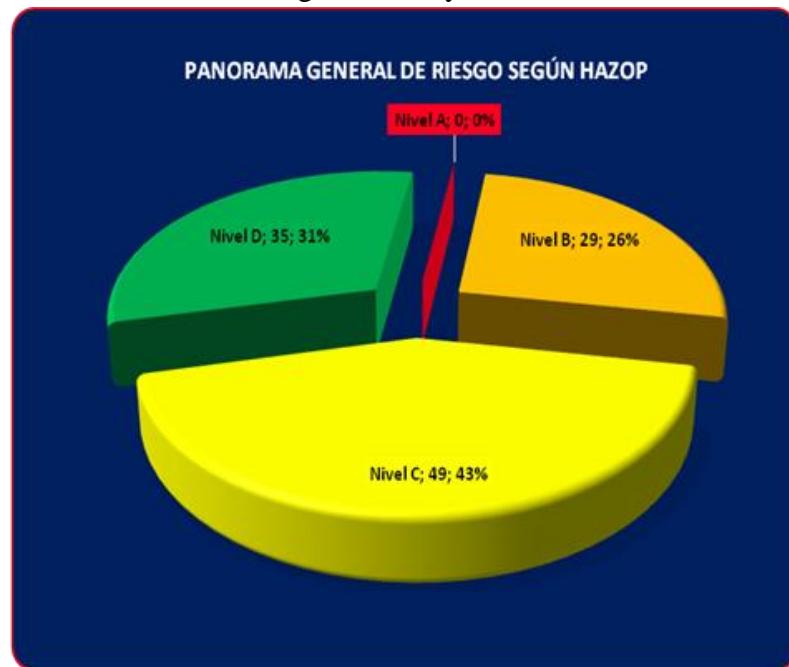


Figura 4. Panorama general de riesgo de la planta para producción de goma vulcanizada

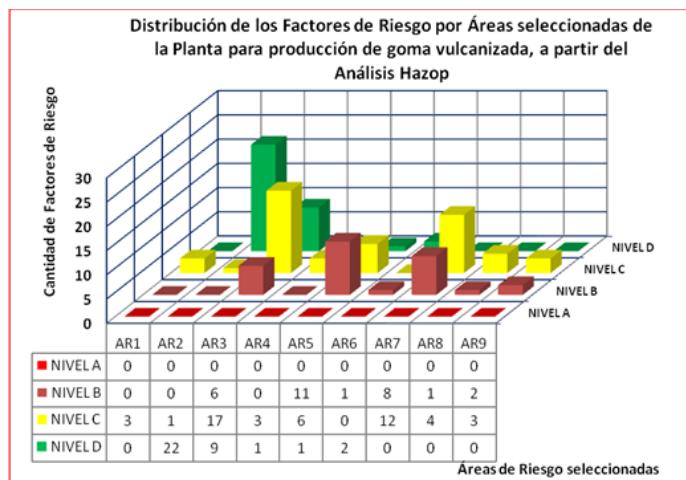


Figura 5. Panorama de riesgo de la planta para producción de goma vulcanizada

Recomendaciones para disminuir los riesgos como resultado del análisis realizado:

- ✓ Usar los medios de protección y cumplir con las medidas de seguridad para cada operación.
- ✓ Exigir los medios de protección por parte de los directivos.
- ✓ Cumplir con lo establecido en los procedimientos de preparación, mezclado y vulcanización.
- ✓ Programar cursos de adiestramiento o superación de los operarios.
- ✓ Llevar a cabo un mantenimiento preventivo planificado, realizando inspecciones diarias, registrando las anomalías encontradas y poder dar solución, con el objetivo de mantener los equipos en buen estado técnico.
- ✓ Mantener los locales con la ventilación que recomienda los procedimientos.

4. CONCLUSIONES

El estudio concluye que el proceso de producción de goma vulcanizada no representa un riesgo inaceptable, ya que ninguna de las desviaciones analizadas se ubicó en la zona crítica. Sin embargo, es importante implementar medidas correctivas para gestionar las desviaciones clasificadas como "tolerables" e "indeseables", con el fin de optimizar la seguridad y eficiencia del proceso. Este enfoque metodológico y los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones y la mejora continua en el diseño y operación de la planta.

REFERENCIAS

- Aguilar, K. V., Sosa, S. & Cadenas, M. T., (2021). Uso de la metodología HAZOP para el análisis de riesgo en estaciones de almacenamiento de combustibles de aviación. *Academia Journals*, 13(10), 23-28. <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/542/1/Uso%20de%20la%20metodologia%20HAZOP.pdf>
- Barros, J. D., Avemayn, A. M., Villafuerte, M. I., Punina, D. J., & Valencia, E. G. (2023). Análisis e identificación de riesgos de operabilidad en procesos críticos de servicios petroleros, mediante la aplicación de la metodología HAZOP, en la industria ecuatoriana. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y*

- Humanidades*, 4(2), 3804-3813. [https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.871 LATAM](https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.871)
- Concepción, L., Goya, F. A., Ibarra-Hernández, E. V., Guerra, B. F., & Dupín, M. (2018). Índice de riesgo tecnológico para la evaluación holística del riesgo en escenarios propensos a accidentes mayores. *Centro Azúcar*, 45(1), 84-93. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/56/49
- Decreto-Ley 142, (2021). De la seguridad y salud en el trabajo. Gaceta Oficial de la República de Cuba. 4289-4298. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-142-ordinaria-de-2021>
- Espitia, M. & Vargas, M. S. (2022). *Propuesta de un plan de gestión de riesgo en el centro de procesos e innovación para la industria sostenible (CEPIIS) de la Universidad de América utilizando las herramientas de análisis de riesgo What If, Hazop y la metodología Bow-Tie*. [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América, Repositorio Institucional Lumieres]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9033>
- Ibarra, E. V., Goya, F. A., Guerra, B. F., & Dupin, M. (2015). Caracterización y usos de las “técnicas cualitativas” de identificación y valoración de peligros en los procesos químicos industriales. *Centro Azúcar*, 42(1), 22-33. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/234/224
- NC-ISO 31000, (2018). *Gestión del Riesgo. Directrices*. Oficina Nacional de Normalización (NC). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>
- Oliveira, A., Mota, F., Leitão, A. B., Medeiros, N., & Caselli, F. (2023). Análise HAZOP de unidade em pequena escala para produção de bioquerosene a partir de ésteres de cadeia curta. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 9(5), 80-90. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i5.42715>
- Oliveira, H. Y. Carvalho, J., Ferreira, S., de Castro, E., Cardoso, L.A., Epifânio, G., Pereira, R. & Sousa, H. S. (2025). Hazop tool applied to the sewage treatment plant by activated sludge process, in the city of Altamira/pa. *Revista Aracê, São José dos Pinhais*, 7(2), 6842-6876. <https://doi.org/10.56238/arev7n2-136>
- Paladines, D. D., & Castro, R. L. (2025). Evaluación de riesgos de seguridad en una empresa de reparación y mantenimiento de embarcaciones. *Journal Scientific MQRInvestigar*, 9(1), 1- 16. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e13>
- Palisade, C. (2016). *Análisis de riesgo*. Palisade Corporation. <http://www.palisade-ita.com/>
- Penelas, A.d.J., & Pires, J.C.M. (2021). HAZOP Analysis in terms of safety operations processes for oil production units: A case study. *Applied. Sciences*, K(21), 10210. <https://doi.org/10.3390/app112110210>
- Ramírez, I. J. (2025). *Análisis de riesgo Hazop de la estación de producción de un campo petrolero*. [Proyecto de titulación. Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/66227>
- Renteria, A. E. (2022). *Análisis y mejora de riesgos operacionales en la gestión de seguridad de procesos aplicando metodología HAZID y HAZOP en la nueva unidad DV3- Refinería Talara*. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Piura, Perú]. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3294>
- Rodríguez, M., Navarrete, M., Zezatti, V. & Ochoa, C. A. (2024). Desarrollo de un entorno virtual para operar de forma para operar de forma segura el proceso de

- desorción utilizando el método HAZOP. *Programación Matemática y Software*, 16(1), 1- 10. <https://doi.org/10.30973/progmat/2024.16.1/1>
- Santamaría, J. M. & Braña, P. A. (1994). *Análisis y reducción de riesgos en la industria química*. Editorial MAPFRE, D.L. 522. <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/12033.do>
- Viña, J., Camejo, J. J. & Castañeda, A., (2021). Most used study methods for process risks analysis with hazardous substances. *Cenic Ciencias Químicas*, 52(2), 161-186. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24422021000200138&Ing=es&nrm=iso
- Zaror C. A. (2003). *Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos*. Universidad de Concepción. 500. <https://repositorio.uvm.edu.ve/handle/123456789/342>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflicto de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Blanca Rosa Cruz Cal. Gestión de proyectos, análisis formal, redacción-revisión y edición.
- Dr.C Belkis F. Guerra Valdés. Supervisión, software, redacción - revisión y edición.
- Dr.C Ricardo Alfonso Blanco. Análisis formal, redacción - revisión y edición.
- M.Sc. Eusebio Vladimir Ibarra Hernández. Análisis formal, supervisión.
- M.Sc. Marlene Dupin Fonseca. Análisis formal, redacción - revisión y edición.