

**ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO DE LOS PROCESOS REALIZADOS EN LA
EMPRESA MORE QUÍMICA DE COLOMBIA S.A.S EN EL MARCO DEL DECRETO 2157
DEL 2017**

Yaritza Ximena Peñaloza Meneses

Código: 109437029



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER- COLOMBIA**

2019

**ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO DE LOS PROCESOS REALIZADOS EN LA
EMPRESA MORE QUÍMICA DE COLOMBIA S.A.S EN EL MARCO DEL DECRETO 2157
DEL 2017**

Trabajo presentado para optar por el título de Ingeniero Químico por:

Yaritza Ximena Peñaloza Meneses

Código: 109437029

DIRECTOR: M. Sc. Julián Méndez



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER- COLOMBIA**

2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a Dios, a mis padres y a mis hermanas. A Dios quien como guía está presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres, Alvaro Peñaloza y Gladys Meneses, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio ser su hija, son los mejores padres. Los amo con mi vida.

A mis hermanas Xiomara, Diana y Mayra por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que, han contribuido a la realización de este trabajo de grado:

A mi familia por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

Al Dr. Libardo Mojica por darme la oportunidad de hacer parte de esta organización y al Dr. Leonardo Mojica, quien con su dirección, conocimientos, enseñanzas, apoyo y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, les agradezco los momentos compartidos y que siempre creyeran en mi para permanecer con empeño, dedicación y cariño.

A mis maestros por las enseñanzas recibidas y por su dedicación para hacer de nosotros los mejores profesionales en el bonito oficio de la Ingeniería Química y a todos quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	9
1. Introducción	10
2. Objetivos	11
2.1. Objetivo general.....	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. Justificación y planteamiento del problema	12
4. Pregunta de investigación	13
5. Marco Teórico.....	14
5.1. Seguridad industrial	14
5.2. Riesgo y peligro	14
5.2.1 Clasificación de los riesgos	15
5.2.2 Análisis de riesgos.....	15
5.2.3 Etapas en la evaluación del riesgo.....	15
5.3. Gestión de riesgo	16
5.3.1 Identificación de riesgo	18
5.3.2 Elección de un método de identificación de riesgos.....	19
5.3.3 Información necesaria para ejecutar un análisis de riesgos	20
5.4. Análisis de peligros y operabilidad: HAZOP	20
6. Revisión de la literatura	25
7. Metodología	27
8. Marco contextual.....	28
8.1. Contexto externo.....	28
8.2. Contexto interno	30
8.2.1. Descripción procesos de producción.....	31
8.2.1.1. Proceso productivo de fertilizantes	31
8.2.1.2. Proceso productivo de plaguicidas agrícolas.....	35
8.2.1.3. Descripción proceso de envasado.....	39
8.2.2 Descripción de los equipos	41
8.2.2.1 Equipos proceso productivo fertilizantes	41
8.2.2.2 Equipos proceso productivo plaguicidas	45
8.2.2.3 Equipos proceso de envase	49
8.2.3 Descripción de las sustancias	49
8.2.3.1 Sustancias del proceso de fertilizantes	50
8.2.3.2 Sustancias del proceso de plaguicidas	52
8.2.3.3 Sustancias del proceso de envase	54
9. Resultados	58

9.1.	Método Electre: Técnica de identificación de riesgos	58
9.2.	Nodos HAZOP.....	59
9.2.1	Nodo 1: Mezclado en V-102	60
9.2.2	Nodo 2: Descarga de producto V-102	63
9.2.3	Nodo 3: Mezclado en V-101	64
9.2.4	Nodo 4: Servicio-Agua de enfriamiento.....	65
9.2.5	Nodo 5: Flujo a través del filtro	67
9.2.6	Nodo 6: Calentamiento en V-202.....	68
9.2.7	Nodo 7: Transporte del producto a TK-201	70
9.2.8	Nodo 8: Mezclado en V-301	71
9.3.	Tablas HAZOP	73
9.3.1	Nodo 1: Mezclado en V-102	73
9.3.2	Nodo 2: Descarga de producto V-102	75
9.3.3	Nodo 3: Mezclado en V-101	75
9.3.4	Nodo 4: Servicio: Agua de enfriamiento.....	76
9.3.5	Nodo 5: Flujo a través del filtro	77
9.3.6	Nodo 6: Calentamiento en V-202.....	77
9.3.7	Nodo 7: Transporte del producto a TK-201	78
9.3.8	Nodo 8: Mezclado en V-301	79
9.4	P&ID de las medidas recomendadas para los nodos.....	80
10.	Conclusiones.....	84
11.	Recomendaciones.....	85
12.	Referencias	86
Anexos.....		88
Anexo A: P&ID ampliado con convención		88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas en la evaluación de riesgos [13].	15
Figura 2: Diagrama de gestión de riesgo.	16
Figura 3: Metodología empleada en el análisis HAZOP.	21
Figura 4: Algoritmo de ejecución del análisis HAZOP [22].	22
Figura 5: Ejemplo de un esquema sobre el que se puede aplicar el método HAZOP. Tomado de [16].	23
Figura 6: Mapa de ubicación empresa More S.A.S.	28
Figura 7: Diagrama P&ID del proceso de producción de fertilizantes en la empresa More S.A.S.	31
Figura 8: Diagrama de bloques del proceso de producción del fertilizante a base de aminoácidos.	32
Figura 9: Diagrama P&ID del proceso de producción del fertilizante a base de aminoácidos.	32
Figura 10: Diagrama de bloques del proceso de producción del fertilizante tipo NPK.	34
Figura 11: Diagrama P&ID del proceso de producción del fertilizante tipo NPK.	34
Figura 12: Diagrama P&ID del proceso de producción de plaguicidas en la empresa More S.A.S.	36
Figura 13: Diagrama de bloques del proceso de producción del Insecticida EC.	36
Figura 14: Diagrama P&ID del proceso de producción del Insecticida EC.	37
Figura 15: Diagrama de bloques del proceso de producción del Fungicida EC.	38
Figura 16: Diagrama P&ID del proceso de producción del Fungicida SC.	38
Figura 17: Diagrama de bloques del proceso de envasado en la Empresa More S.A.S.	39
Figura 18: Diagrama P&ID del proceso de envase acotado hasta el tanque de agitación.	40
Figura 19: Diagrama correspondiente al Nodo 1.	60
Figura 20: Diagrama correspondiente al Nodo 2.	63
Figura 21: Diagrama correspondiente al Nodo 3.	64
Figura 22: Diagrama correspondiente al Nodo 4.	66
Figura 23: Diagrama correspondiente al Nodo 5.	67
Figura 24: Diagrama correspondiente al Nodo 6.	68
Figura 25: Diagrama correspondiente al Nodo 7.	70
Figura 26: Diagrama correspondiente al Nodo 8.	71
Figura 27: Sistema de control propuesto para el Nodo 1.	80
Figura 28: Sistemas de control propuesto para el Nodo 3 y 4.	81
Figura 29: Sistema de control propuesto para el Nodo 5.	81
Figura 30: Sistemas de control propuesto para el Nodo 6.	82
Figura 31: Sistema de control propuesto para el Nodo 7.	82
Figura 32: Sistemas de control propuesto para el Nodo 8.	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Definición de las características de las técnicas de identificación de riesgos. Tomado de [18].	19
Tabla 2: Valoración cualitativa de características de las técnicas de identificación de riesgos. Tomado de [18].	19
Tabla 3: Información requerida en el análisis HAZOP	21
Tabla 4: Palabras guías más comunes y su significado genérico [21].....	21
Tabla 5: Elementos de un proceso en relación con los parámetros del análisis HAZOP	23
Tabla 6: Ejemplo resultados en el análisis HAZOP	24
Tabla 7: Coordenadas empresa More S.A.S.....	28
Tabla 8: Instalaciones cercanas a la empresa More S.A.S.	29
Tabla 9: Área ocupada por las secciones en que se divide la empresa More S.A.S.....	30
Tabla 10: Condiciones de operación del proceso de producción del fertilizante a base de aminoácidos	33
Tabla 11: Condiciones de operación del proceso de producción del fertilizante tipo NPK	35
Tabla 12: Condiciones de operación del proceso de producción del Insecticida EC	37
Tabla 13: Condiciones de operación del proceso de producción del Fungicida SC.....	39
Tabla 14: Equipos en la estación de bombeo del proceso de fertilizantes.....	41
Tabla 15: Equipos en la sección de fabricación del proceso de fertilizantes.....	42
Tabla 16: Equipos en la sección de formulación del proceso de fertilizantes.....	42
Tabla 17: Equipos en la sección de bombeo del proceso de fertilizantes.....	43
Tabla 18: Equipos en la estación de filtro del proceso de fertilizantes.	44
Tabla 19: Equipos en la sección de abastecimiento de agua potable del proceso de fertilizantes.....	44
Tabla 20: Equipos de compresión del proceso de fertilizantes.	45
Tabla 21: Equipos en la estación de bombeo del proceso de plaguicidas.	45
Tabla 22: Equipos en la sección de producción del proceso de plaguicidas (Fungicida SC).....	46
Tabla 23: Equipos en la sección de producción del proceso de plaguicidas (Insecticida EC).	47
Tabla 24: Equipos de bombeo del proceso de plaguicidas.....	48
Tabla 25: Equipos de generación de vapor del proceso de plaguicidas.	48
Tabla 26: Equipos de compresión del proceso de plaguicidas.	48
Tabla 27: Equipos del proceso de envase.....	49
Tabla 28: Declaraciones de riesgo (Frases H) [29].	49
Tabla 29: Información sobre las sustancias utilizadas en el proceso de producción fertilizantes de la empresa More S.A.S.....	50
Tabla 30: Información sobre las sustancias utilizadas en el proceso de producción plaguicidas de la empresa More S.A.S.....	53
Tabla 31: Información sobre las sustancias utilizadas en el proceso de envasado de la empresa More S.A.S.....	54
Tabla 32: Matriz de distribución de pesos inicial.....	58
Tabla 33: Resultados de la matriz de concordancia.	58
Tabla 34: Resultados de la matriz de discordancia.....	59
Tabla 35: Resultados de la técnica de identificación de riesgos seleccionada.	59
Tabla 36: Nodos seleccionados, variables y palabras claves a analizar	59

Resumen

En el marco del decreto 2157 del 2017 se establece que todas las empresas públicas o privadas deben realizar un plan de gestión del riesgo desde diferentes ámbitos, debido a que cualquier actividad que se realice implica riesgos. Igualmente, estas deben cumplir el marco normativo vigente NTC 31000 [1] donde se exponen los principios y directrices para la valoración del riesgo.

En el presente documento se realizó un análisis de riesgos y operabilidad (HAZOP) a los procesos productivos de fertilizantes y plaguicidas, así como el proceso de envasado que se lleva a cabo en la empresa maquiladora de agroquímicos y productos veterinarios, MORE S.A.S situada en Soacha, Cundinamarca.

El procedimiento consistió en realizar desviaciones hipotéticas a variables de partes claves del proceso (llamados nodos) para analizar las posibles causas y consecuencias derivadas de estas y medidas correctivas que puedan prevenirlas. Para lograr lo anterior, se efectuó una descripción de los procesos a través de diagramas de bloques, diagramas P&ID, así como la especificación de las sustancias y equipos involucrados.

Los resultados obtenidos, principalmente las medidas correctivas sugeridas, representan una fuente importante en la prevención de los riesgos que pudieran ocurrir en las operaciones ejecutadas en la empresa analizada. Así mismo, puede servir como un plan de gestión de seguridad, pues en este se dan indicaciones en la manera en que se debe operar la planta mediante el control de ciertas variables que puedan generar un riesgo potencial. Adicionalmente, este documento puede servir como una herramienta que permita facilitar el cumplimiento del marco normativo vigente a la compañía. Sin embargo, es juicio de la empresa MORE S.A.S juzgar y analizar la viabilidad económica, logística y productiva de implementarlas en sus instalaciones.

Abstract

Within the framework of the decree 2157 of 2017, it is established that all public or private companies must carry out a risk management plan covering different areas, since any activity inherently involves the occurrence of risks. Likewise, these companies must comply with the current regulatory framework NTC 31000 [1], that contains and exposes all the principles and guidelines for risk assessment.

In this document, a hazard and operability analysis (HAZOP) was carried out to the fertilizers and pesticides productive processes, as well as to the packaging process that take place in the maquiladora company of agrochemicals and veterinary products MORE S.A.S, located in Soacha, Cundinamarca.

The followed procedure consisted of making hypothetical deviations to variables of key sections of the process (called nodes) to analyze the possible causes and consequences derived from them as well as the corrective measures that could prevent them. In order to achieve the above mentioned, a description of the processes was made by means of block diagrams, P&ID, as well as the specification of the substances and equipment involved.

The obtained results, the suggested corrective actions mainly, represent an important source in the prevention of the risks that could occur in the operations carried out in the studied company. Furthermore, they can serve as a safety management plan, since they give indications regarding the way in which the plant should be operated by controlling certain variables that may generate a potential danger. Additionally, this document can serve as a tool to facilitate the company the compliance with the regulatory framework. However, it is up to the company to judge and analyze the economic, logistical and productive viability of implementing them within its facilities.

Palabras clave: Fertilizantes, Plaguicidas, Riesgo, HAZOP.

Key words: Fertilizers, Pesticides, Risk, HAZOP.

1. Introducción

El desarrollo de la actividad industrial, con la aparición de nuevos procesos químicos ha dado lugar a una considerable mejora en el nivel de vida. Sin embargo, el incremento de las instalaciones industriales ha implicado a su vez la aparición de nuevos riesgos. De esta manera, los accidentes de la industria química corresponden en el mayor de los casos al transporte de productos peligrosos, plantas de procesos, instalaciones de almacenamiento y en operaciones de carga y descarga, específicamente, en la década de los ochenta, se registró uno de los accidentes más graves de la historia: Bhopal (escape de gas con formación de nube tóxica).

Lo anterior manifiesta la necesidad de mejorar la seguridad y reducir el riesgo de los accidentes, provocando diversos cambios en la legislación, como el Decreto 2157 del 2017, por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas, dando alcance a aquellas que desarrollen actividades industriales en Colombia.

El Decreto 2157 establece un marco regulatorio para la realización del Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP) como mecanismo para la planeación de la gestión del riesgo de desastres, basándose en las Normas Técnicas Colombianas NTC 31000 y 31010, donde se establece la metodología para la realización y las diferentes técnicas de aplicación, respectivamente.

En general, un plan de gestión del riesgo contempla desde una comunicación y consulta para su realización hasta un monitoreo y revisión de lo realizado, pero, el fundamento de su consolidación se da en la valoración del riesgo del sistema que se decide estudiar, para esto es necesario una identificación del riesgo, un análisis del riesgo y una evaluación del riesgo. Sin embargo, el establecimiento del contexto marca la pauta del análisis, porque se debe ajustar la técnica a variables como acceso a la información, fase del proyecto, propósito, complejidad, tiempo, personal, etc.

Además, el plan de gestión del riesgo debe contener las medidas que logren reducir las condiciones de riesgo actual y futuro con el fin de proteger la población, mejorar la seguridad, el bienestar y sostenibilidad de las entidades, es decir, busca garantizar la protección de personas, bienes, producción y activos culturales y ambientales de una organización que desarrolle actividades que puedan significar riesgos de desastre.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Realizar un análisis preliminar de riesgo de los procesos realizados en More Química De Colombia S.A.S en el marco del decreto 2157 del 2017

2.2. Objetivos específicos

- Definir los procesos realizados en la More Química de Colombia S.A.S para la fabricación de productos agropecuarios.
- Establecer y aplicar una metodología de valoración de riesgo para los procesos realizados
- Analizar el resultado de la valoración de riesgos y proponer procesos de mejora.

3. Justificación y planteamiento del problema

En el año 2017 en Colombia, por medio del Decreto 2157, se establece que toda organización en el territorio nacional que desarrolle actividades industriales y que puedan significar riesgo de desastre debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional están en la obligación de realizar un análisis específico del riesgo [2]. Por esta razón, siendo More Química de Colombia S.A.S una empresa productora de insumos agrícolas y pecuarios por contrato, encontrándose dentro del ámbito de aplicación del marco normativo y sobrepasando el plazo planteado en el mismo, se requiere iniciar el proceso para la gestión del riesgo.

Los principios y directrices para la gestión del riesgo, así como las técnicas de evaluación, se encuentran planteadas en las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 31000 y 31010 [1], respectivamente. Estas normas definen la gestión del riesgo como la coordinación de actividades para dirigir y controlar una organización respecto al riesgo enfocándose en una metodología de 5 pasos:

1. Comunicación y consulta
2. Establecimiento del contexto
3. Valoración del riesgo
4. Tratamiento del riesgo
5. Monitoreo y revisión.

Teniendo en cuenta la metodología establecida y el interés de la organización de dar inicio a la construcción de un plan de gestión de riesgo después de una comunicación y consulta, se decide iniciar el estudio dándole una alta prioridad y en pronta respuesta se propone atender este llamado, iniciando desde el establecimiento del contexto para identificar y finalmente analizar detalladamente los riesgos, principalmente, que lleguen a suceder durante sus procesos de fabricación de productos agropecuarios. El análisis de estos riesgos potenciales se realiza en el marco de la seguridad de procesos químicos, que contiene herramientas prescriptivas, cuantitativas y cualitativas [3]. El presente trabajo se enmarca en diferentes alternativas de análisis cualitativo de riesgo.

También, es importante tener en cuenta que More Química de Colombia S.A.S está clasificada como una empresa de Riesgo profesional 5 según la tabla de clasificación por actividades económicas establecida en el decreto 1607 del 2002 [4], y hasta el momento no cuenta con un plan de emergencias y contingencias detallado, no obstante, se encuentra actualizado según la norma vigente el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) según la actividad de la empresa, aunque es necesario crear conciencia de lo que significa la seguridad en una planta de producción y que está no se puede quedar solamente en el trabajo seguro bajo el uso de elementos de protección personal (siendo esta la cultura actual de la organización) sino que se deben identificar los peligros para diseñar nuevas características de ingeniería y así prevenir las pérdidas entrando al contexto de seguridad.

4. Pregunta de investigación

Las preguntas que orientan y delimitan el presente trabajo son:

- ¿Qué técnica de identificación de riesgos es la más adecuada que permita identificar correctamente los riesgos en los procesos que se llevan a cabo en la empresa More S.A.S?
- ¿Cuáles son los riesgos más relevantes existentes o por identificar en los procesos de producción y envase en la empresa More S.A.S?
- ¿Qué tipo de acciones se pueden tomar para evitar que los riesgos existentes o por identificar se materialicen, garantizando de esta manera la integridad de las personas y equipos?

5. Marco Teórico

5.1. Seguridad industrial

La seguridad industrial es un tema complejo, que abarca desde la problemática técnica hasta efectos humanos y sociales, por lo cual, al tratar la seguridad industrial es recomendable discriminarla en seguridad personal y seguridad de procesos [5]. Durante mucho tiempo se creyó que la seguridad era la prevención de accidentes mediante el uso de cascos, zapatos de seguridad y demás elementos de protección personal establecidos bajo reglas y regulaciones, enfatizándose en la seguridad del trabajador, pero, un buen rendimiento en la seguridad personal no garantiza el rendimiento de la seguridad del proceso. Aunque pueden existir elementos en común la seguridad personal medida en las métricas tradicionales de seguridad como índice de lesiones e índices de accidentes con días perdidos solo refleja la buena actitud y cultura de seguridad de los trabajadores. Adicionalmente, con el crecimiento de la industria y el desarrollo de procesos químicos más complejos se hizo necesario el uso de una tecnología de seguridad más compleja y el conocimiento del riesgo, concluyendo que la seguridad del proceso es tan importante como la producción.

De acuerdo a lo anterior, se puede entender como seguridad de procesos a la prevención de pérdidas mediante el uso de tecnologías adecuadas para identificar peligros dentro de una planta química y eliminarlos antes que ocurra un accidente. Por lo tanto, la seguridad es un elemento crítico de la gestión del diseño de un proceso, protegiendo los activos, manteniendo la integridad de la operación y preservando el valor de la inversión [6].

La base de un sistema de gestión de seguridad [7] la evaluación de vulnerabilidad donde se identifican las vulnerabilidades de seguridad dentro de una amplia gama de amenazas para mitigar los riesgos de manera efectiva, también conocido como gestión del riesgo. La gestión del riesgo implica una completa comprensión del riesgo específico asociados con los productos químicos que se manejan en cuanto a la manufactura, transporte, almacenamiento, empaquetamiento u otras operaciones de procesos que se lleven a cabo en una planta.

Las plantas inherentemente seguras son a menudo más rentables y se basan en la química y la física para prevenir accidentes. Para la protección incluyen [8] características de diseño del proceso, sistemas de control, sistemas de cierre de seguridad, sistemas de protección, alarmas y planes de respuesta de emergencias. Sin embargo, el mejor enfoque [9] para prevenir accidentes es agregar características de diseño del proceso para prevenir situaciones peligrosas y se puede modificar en cualquier momento de su ciclo de vida desde la intensificación, sustitución, atenuación, limitación de efectos o simplificación.

5.2. Riesgo y peligro

Se entiende como riesgo [10] a la desviación de algo esperado y que genera impacto negativo con la combinación de la frecuencia de eventos y la magnitud de las consecuencias, por lo tanto, todas las actividades u objetivos de una organización son susceptibles de presentar desviaciones. Para plantas de procesos químicos el término de riesgo se puede referir al daño humano, material o económico por pérdida o lesión y el análisis de este se trasladaría a la estimación cuantitativa dada desde un estudio ingenieril.

El riesgo se diferencia del peligro, porque este último es [10] una condición química o física que puede causar daños a personas propiedades o al medio ambiente, por ejemplo, en una planta química existen peligros mecánicos que causan lesiones al trabajador por movimientos inadecuados propios o de equipos, también, químicos como incendios, explosiones, peligros de reactividad y peligros tóxicos, pero se asemejan al riesgo con la probabilidad de que uno de estos eventos ocurra.

5.2.1 Clasificación de los riesgos

Una clasificación de los riesgos industriales, que toma en cuenta su origen, puede ser la siguiente [11]:

Riesgos convencionales: Se refiere a condiciones o actividades que pueden dar lugar a accidentes de trabajo, a los equipos, personas o infraestructura en alguna zona de la instalación.

Riesgos delimitados: Pertenecen a este tipo de riesgos cualquier sustancia que pueda provocar afectaciones o bien al equipo o principalmente a los trabajadores (sustancias tóxicas, radioactivas, etc.)

Riesgos extraordinarios: Son de una naturaleza de gravedad mayor que puede afectar de manera intensa la instalación y la integridad de las personas presentes (por ejemplo: explosiones, incendios, riesgo de electrocución, emisiones de tóxicas).

5.2.2 Análisis de riesgos

En los procesos industriales siempre existen variables que deben mantenerse en un rango controlado de operación segura. El análisis de riesgos constituye una vía preventiva a las afectaciones que pudiesen ocurrir como resultado de una desviación incontrolada de las mismas. Es decir, el análisis de riesgos es un esfuerzo organizado para identificar y analizar la importancia de las situaciones peligrosas asociadas con un proceso o actividad [12]. En esta evaluación se identifican puntos débiles en el diseño u operación de las instalaciones que podrían conducir a emisiones de materiales peligrosos, incendios o explosiones, proporcionando a las organizaciones información útil en la toma de decisiones para mejorar la seguridad y administrar el riesgo de las operaciones.

La evaluación de riesgos se enfoca en seguridad de procesos y son la piedra angular del programa de gestión del riesgo, pues, complementan actividades de salud y seguridad personal con la investigación de problemas de operabilidad, económicos y ambientales. Este estudio puede realizarse para ayudar a gestionar el riesgo en todas las etapas de un proceso: Investigación y desarrollo, diseño detallado, construcción, operación y desmantelado.

Los beneficios de un programa de evaluación de riesgos pueden incluir, la respuesta de emergencia mejorada, menos incidentes a lo largo de la vida de un proceso, reducción de consecuencia de los incidentes que se produzcan, mejora de la formación y comprensión del proceso, operaciones más eficientes y productivas, mejora de las relaciones regulatorias y comunitarias, entre otros.

5.2.3 Etapas en la evaluación del riesgo

El proceso de evaluación de riesgos [13] puede dividirse en las siguientes etapas

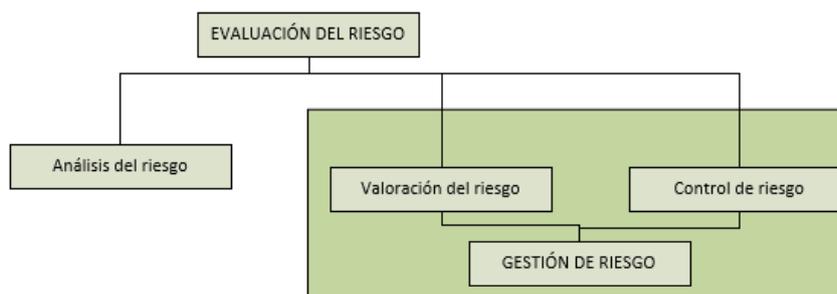


Figura 1: Etapas en la evaluación de riesgos [13].

Análisis del riesgo

- Identificación del riesgo: En este paso se identifican sucesos indeseados que pueden llevar a desencadenar un potencial peligro.
- Estimación del riesgo: Se realiza una estimación del riesgo, así como la probabilidad y consecuencias de que el peligro se materialice.

Valoración del riesgo

- En base a la estimación del riesgo, este se compara con un valor de referencia que represente un estado de tolerabilidad de riesgo aceptable. En base a un juicio, que debe incluir experiencia, trabajo en equipo, recomendaciones de auditores, entre otros, se expresa un dictamen en cuanto a si el riesgo es tolerable o no.

Control de riesgo

- Si el riesgo encontrado en la valoración del riesgo no es tolerable, se procede a un mecanismo de control de riesgo. El proceso conjunto de evaluar y controlar el riesgo, se le conoce como gestión de riesgo.

5.3. Gestión de riesgo

La gestión del riesgo [14] es una parte integral de los procesos mediante la identificación, análisis y evaluación de los riesgos aplicada a sus diferentes áreas, funciones y proyectos, dando a las organizaciones una mayor probabilidad de alcanzar sus objetivos. La norma NTC 31000 [1] expresa los principios y directrices de la gestión del riesgo (Figura 2), cuyos puntos clave se explican a continuación.

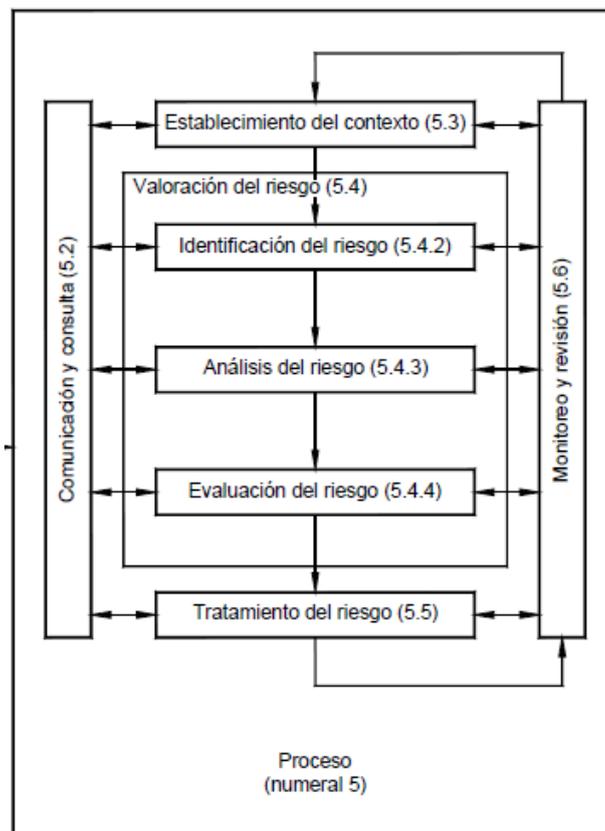


Figura 2: Diagrama de gestión de riesgo

Establecimiento del contexto

Cuando se habla del contexto para gestión del riesgo, se tiene en cuenta tanto el contexto interno como el contexto externo, delimitándolos en torno a sus objetivos y parámetros a considerar y de esta manera, dar un alcance al proceso.

En el contexto externo es importante tener en cuenta el ambiente (social, cultural, político, legal, reglamentario, financiero, tecnológico, económico, natural y competitivo), que tienen un impacto sobre la organización.

En el contexto interno los parámetros a evaluar son el gobierno, estructura organizacional, funciones, obligaciones, políticas, objetivos, estrategias, capacidades (en términos de recursos y conocimiento), sistemas de información, flujos de información, procesos de toma de decisiones, relaciones de las partes involucradas, cultura de la organización, normas, directrices y forma y extensión de las relaciones contractuales.

Valoración del riesgo: Es el proceso total de identificación del riesgo, análisis del riesgo y evaluación del riesgo.

Identificación del riesgo: se empieza a establecer las fuentes del riesgo, las áreas de impacto, los eventos, qué los ocasiona y cuáles son sus consecuencias potenciales, para esto, se enlistan los eventos que podrían crear, aumentar, prevenir, degradar, acelerar o retrasar el logro de los objetivos, teniendo en cuenta que cualquiera que no sea tenido en cuenta no entrará en la siguiente fase. Por lo tanto, se deben aplicar herramientas o técnicas que sean acordes a los objetivos, capacidades y riesgos enfrentados por la organización según la información que se posea.

Análisis del riesgo: implica el desarrollo y la comprensión del riesgo, estableciendo si es necesario tratarlo y cuáles serían las técnicas adecuadas para hacerlo, de esta manera, se tiene una entrada a la toma de decisiones con la elección de tipos y niveles de riesgos, es decir, se establecen las causas, las consecuencias y la probabilidad de que puedan ocurrir, la combinación de estas últimas refleja el nivel del riesgo que se está tratando.

El análisis del riesgo puede ser cualitativo, semicuantitativo y cuantitativo dependiendo de las circunstancias, de esta manera, las consecuencias se pueden expresar tangible o intangiblemente. El grado de detalle con el que se realice este análisis depende del riesgo, el propósito, la información y los recursos disponibles.

Evaluación del riesgo: Tiene como propósito facilitar la toma de decisiones, aportando una lista de prioridades del tratamiento de los riesgos analizados. Para esto, se compara el nivel del riesgo definido en el análisis con los criterios establecidos al establecer el contexto. Es importante tener en cuenta, que esta evaluación puede tener como resultado no tratar el riesgo de ninguna manera, influida por la actitud de la organización y los criterios establecidos.

Tratamiento del riesgo: Una vez finalizada la valoración del riesgo, se tienen identificados los riesgos a tratar y en esta fase se plantean las opciones para modificarlos y su implementación. Las opciones pueden ser evitar el riesgo al decidir no iniciar o continuar la actividad que lo originó, retirar la fuente de riesgo, cambiar la probabilidad o las consecuencias, incluso retener el riesgo mediante una decisión informada.

Para la selección de estas opciones es necesario crear un equilibrio entre los costos, los esfuerzos de implementación y los beneficios, porque, no es justificable en términos económicos, por ejemplo, tratar un riesgo con consecuencia negativa alta, pero con baja probabilidad de que ocurra.

Monitoreo y revisión: Incluye la verificación y vigilancia periódica de los aspectos del proceso, garantizando la eficacia y eficiencia de los controles, detectando los cambios en el contexto interno y

externo e identificando riesgos emergentes. Los resultados se pueden medir por el desempeño del tratamiento del riesgo, registrándolos y reportándolos según corresponda.

5.3.1 Identificación de riesgo

Los procesos industriales tienen, principalmente y en la mayoría de los casos, como principal función generar una rentabilidad económica, pero deben diseñarse de tal modo que el riesgo asociado a su operación sea el mínimo para las personas y el ambiente. Sin embargo, antes de la minimización del riesgo, debe ocurrir la identificación del mismo. Las técnicas en la identificación de riesgo pueden clasificarse en cuantitativas o cualitativas [3].

Las técnicas cuantitativas tienen como características la obtención de resultados más exactos (a causa del uso de modelos probabilísticos) y, como principal atributo, una objetividad mayor en la hora del estudio comparado con las cualitativas. Sin embargo, su principal desventaja es que pueden consumir una mayor cantidad de tiempo para su elaboración, lo cual no puede ser beneficioso para procesos no tan complejos.

Por otro lado, las técnicas cualitativas son mucho más rápida y sencilla su aplicación. No obstante, su principal falencia tiene que ver con la subjetividad y opinión de los encargados a la hora de la realización del estudio, de manera que un mismo proceso podría llevar a conclusiones diferentes.

La lista de las técnicas de identificación de riesgos es bastante extensa. A continuación, se listan las técnicas cuantitativas y cualitativas más comunes y su breve introducción.

Técnicas cuantitativas [15]:

En esta clasificación se pueden encontrar: método de las cadenas de Markov, Método de las curvas FN, Método de la matriz de consecuencia y probabilidad, Método del análisis costo-beneficio, Método de Monte Carlo, Método de análisis de decisión multicriterio, Método de análisis de riesgo, entre otras. A continuación, se describen brevemente algunas de estas. Para más información, consultar [15].

- Método de las cadenas de Markov: Es considerado un método estocástico, pues el resultado que se obtiene depende del resultado inmediatamente anterior a este. El método se basa en identificar los riesgos previos y las probabilidades actuales del estado en donde se encuentran.
- Método de análisis de decisión multicriterio: En este método ocurre una parametrización de diversas opciones para establecer una serie jerárquica de las mismas, utilizando para ello unos criterios que se establecen de manera arbitraria.
- Método de monte Carlo: Es un método que hace un tratamiento estadístico a problemas analíticos que son difíciles de resolver de forma exacta. De esta manera, es una opción a considerar cuando los demás métodos no son capaces de entregar resultados relevantes.

Técnicas cualitativas [15]:

En esta clasificación se pueden encontrar: Auditoria de seguridad, análisis histórico de accidentes, análisis preliminar de riesgos, listas de control, análisis que pasa si, análisis de peligro y operabilidad, análisis de fallo y efecto, método de la matriz de control, entre otras. A continuación, se describen brevemente algunas de estas. Para más información, consultar [15].

- Lista de verificación: Se basan en hechos históricos, bases de datos o conocimientos y peligros que se han presentado en el proyecto de naturaleza similar.
- Análisis preliminar de riesgos: Se usa para la localización, detección de riesgos y para garantizar modos de mitigación de los mismos. El objetivo de esta herramienta, es identificar potenciales peligros en etapas tempranas desde una etapa conceptual del proyecto.

- Análisis funcional de operatividad (HAZOP): Es un método completo y riguroso que se basa en que los riesgos se ocasionan a partir de desviaciones en las variables de un proceso con respecto a sus condiciones normales de operación.
- Análisis de modo y efecto de fallos (FMEA): Se usa comúnmente para identificar fallas potenciales en cualquier etapa del proyecto. También permite analizar la eficacia en los planes de contingencia propuestos.

5.3.2 Elección de un método de identificación de riesgos

Hay diversos elementos que deben considerarse para tomar una decisión [16]:

- El principal se refiere a los recursos (económicos, de tiempo, experiencia de los encargados)
- La información, datos, registros con los que se dispone y el grado de confiabilidad de los mismos.
- La complejidad del método a seleccionar
- El grado de exactitud que se desea obtener
- La reproducibilidad que se desea de los resultados obtenidos

Método de selección de la técnica de identificación de riesgos (método multicriterio Electre)

La selección de la técnica de identificación de riesgos a utilizar se basará en los resultados que se obtengan de la aplicación del método multicriterio conocido como Electra. En este método se utilizan criterios, los cuales son características comunes de las alternativas evaluadas. Se asignan pesos de forma arbitraria a cada uno de esos criterios y, al comparar cada una de las alternativas por pares, se establece un grado de dominación o grado de superación que tiene una sobre la otra. Para más detalles sobre el procedimiento del método, consultar [17].

Las técnicas de identificación de riesgos aquí evaluadas son las que se usan con más frecuencia. Las características (criterios de Electra) que se seleccionaron (ver Tabla 1) fueron tomadas en base al trabajo de [18] junto con la valoración cualitativa de cada característica para cada técnica (Tabla 2).

Tabla 1: Definición de las características de las técnicas de identificación de riesgos. Tomado de [18].

Característica de la técnica de identificación de riesgos	Definición
Fase del proceso	D (Diseño), C (Construcción), A (Arranque), O (Operación), P (Parada), M (Modificación)
Propósito	T (Fallos técnicos), O (Fallos en operación), H (Fallos humanos), C (Grado de consecuencias)
Tipo de resultado	Q1 (Cualitativos), Qn (Cuantitativos), Rr (Herramienta para reducir riesgos)
Grado de complejidad	B (Baja), M (Media), A (Alta)
Datos requeridos	G (Globales), I (Intermedios), D (Detallados)
Tiempo y costos	B (Bajos), M (Moderados), A (Altos)

Tabla 2: Valoración cualitativa de características de las técnicas de identificación de riesgos. Tomado de [18].

Técnica de Identificación	Fase proceso	Propósito	Tipo de resultado	Grado de complejidad	Datos requeridos	Tiempo y costos
Lista de Chequeo	D+C+A+O +O+P+M	T+O+H	Q1	B+M	G+I	B+M
Índice de riesgos	D+O	T+C	Q1+Qn	B+M+A	G+I	M
Análisis ¿Qué pasa sí?	D+A	T+O+H+C	Q1+Qr	B+M	D+I	B+M

Técnica de Identificación	Fase proceso	Propósito	Tipo de resultado	Grado de complejidad	Datos requeridos	Tiempo y costos
HAZOP	D+M	T+O	Q1+Qr	M+A	D	A
FMEA	D+C+O	T	Q1	M+A	D	M+A
Árbol de fallos	D+O	T+H+C	Q1+Qn	M+A	D	M+A

5.3.3 Información necesaria para ejecutar un análisis de riesgos

La información y conocimiento que se tenga sobre el proceso permitirá llevar a cabo el análisis de riesgos. De la calidad de la información con que se dispone dependerá la calidad del reporte final que se obtendrá. Es decir, información y conocimiento de calidad y veracidad es de fundamental importancia y será más valiosa para el análisis de riesgo. Sin embargo, la información disponible puede no estar disponible en su totalidad, o puede esta variar con la etapa de vida en la que se encuentre el proceso. De esta forma, la información más utilizada y recomendable para ejecutar un análisis de riesgo, es la siguiente [19]:

- Balances de materia y energía
- Diagramas de flujo con descripción de las etapas del proceso.
- Estequiometría de las reacciones químicas y su cinética (si aplica)
- Condiciones de operación: Temperatura, presión, concentración de las corrientes, etc.
- Descripción de la lógica de control (si aplica).
- Información de seguridad (ambiental, de higiene) de las sustancias involucradas en el proceso
- Información de instrumentación
- Información de servicios
- Procedimientos de operación y/o mantenimiento

5.4. Análisis de peligros y operabilidad: HAZOP

El análisis de peligros y operabilidad (HAZOP) es una técnica sistemática y estructurada, utilizada ampliamente en plantas de proceso, que permite el examen de un sistema y el manejo de sus riesgos. HAZOP se utiliza como una técnica para identificar potenciales riesgos en sistemas, así como para identificar problemas que podrían conducir en peligros para el ser humano, el ambiente y/o no conformidades del producto.

El análisis HAZOP consiste [20] en la “aplicación sistemática y crítica a procesos y objetivos de plantas nuevas o existentes para estimar qué potencial de peligrosidad puede generarse por error de manipulación o mal funcionamiento de instalaciones individuales, y qué efectos pueden resultar para el conjunto de la instalación y el entorno.”

Metodología del HAZOP

En análisis HAZOP es un proceso que se puede ejecutar en los cuatros pasos que se ilustran en la siguiente figura:

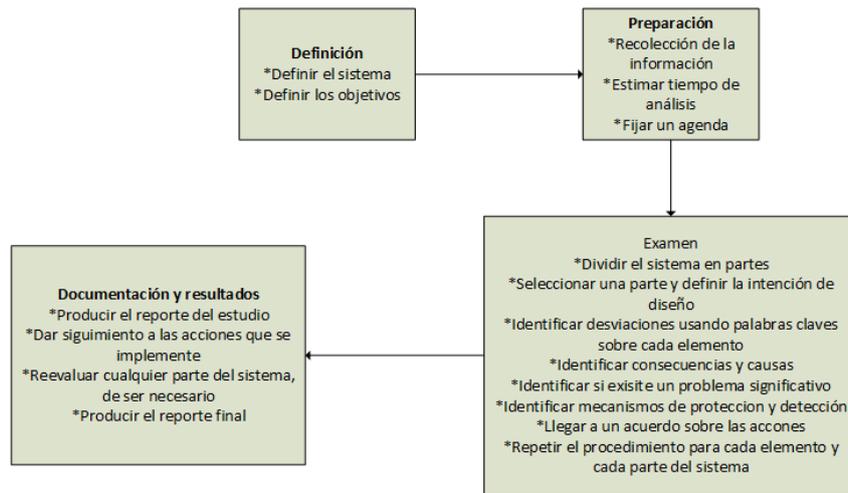


Figura 3: Metodología empleada en el análisis HAZOP

Fase de definición

En esta fase se debe definir exactamente el sistema que será estudiado, el objetivo final del estudio, así como las suposiciones claves que se realizarán.

Fase de preparación:

En la fase de preparación se localiza e identifica la información requerida para el estudio, así como las palabras guías que serán utilizadas. La información necesaria mínima para lograr un análisis adecuado incluye información detallada del proceso, los equipos y las sustancias involucradas en este. La Tabla 3 muestra la información requerida, mientras que la Tabla 4 las palabras claves más comunes.

Tabla 3: Información requerida en el análisis HAZOP

Proceso	Equipos	Sustancias
<ul style="list-style-type: none"> •Diagramas de flujo de proceso (PFD) o diagrama de flujo de proceso, tubería e instrumentación (P&ID) •Información de los servicios <ul style="list-style-type: none"> •Datos cinéticos de las reacciones (si procede) •Materias primas y productos 	<ul style="list-style-type: none"> •Material de construcción <ul style="list-style-type: none"> •Datos de diseño •Condiciones de operación <ul style="list-style-type: none"> •Límites de operación 	<p>Ficha técnica que indique, entre otras, la peligrosidad y toxicidad</p>

Tabla 4: Palabras guías más comunes y su significado genérico [21]

Palabra guía	Significado
No	Negación de la intención del diseño
Más	Incremento cuantitativo en el parámetro
Menos	Disminución cuantitativa en el parámetro
Más que	Una actividad adicional ocurre
Parcialmente	Solo parte de la intención de diseño se cumple
Inverso	Ocurre lo opuesto a la intención de diseño
Otro	Sustitución completa, otra actividad ocurre

Fase de análisis:

La fase de análisis empieza con una explicación y entendimiento detallado del sistema objeto de estudio. Seguidamente se obtienen subsistemas que faciliten su análisis. Posteriormente se identifican todos los elementos y/o partes del sistema, llamado nodos (columnas, reactores, bombas, etc.). Finalmente se aplican las palabras guías (no, más, menos, otro, etc.) a cada una de las variables que afectan los nodos seleccionados (temperatura, presión, flujo). El propósito de las palabras guías es la identificación de potenciales desviaciones en el proceso, las cuales a su vez producen consecuencias derivadas de eventos o causas particulares. El diagrama lógico y esquemático que debe seguir para ejecutar el análisis HAZOP se muestra en la Figura 4.

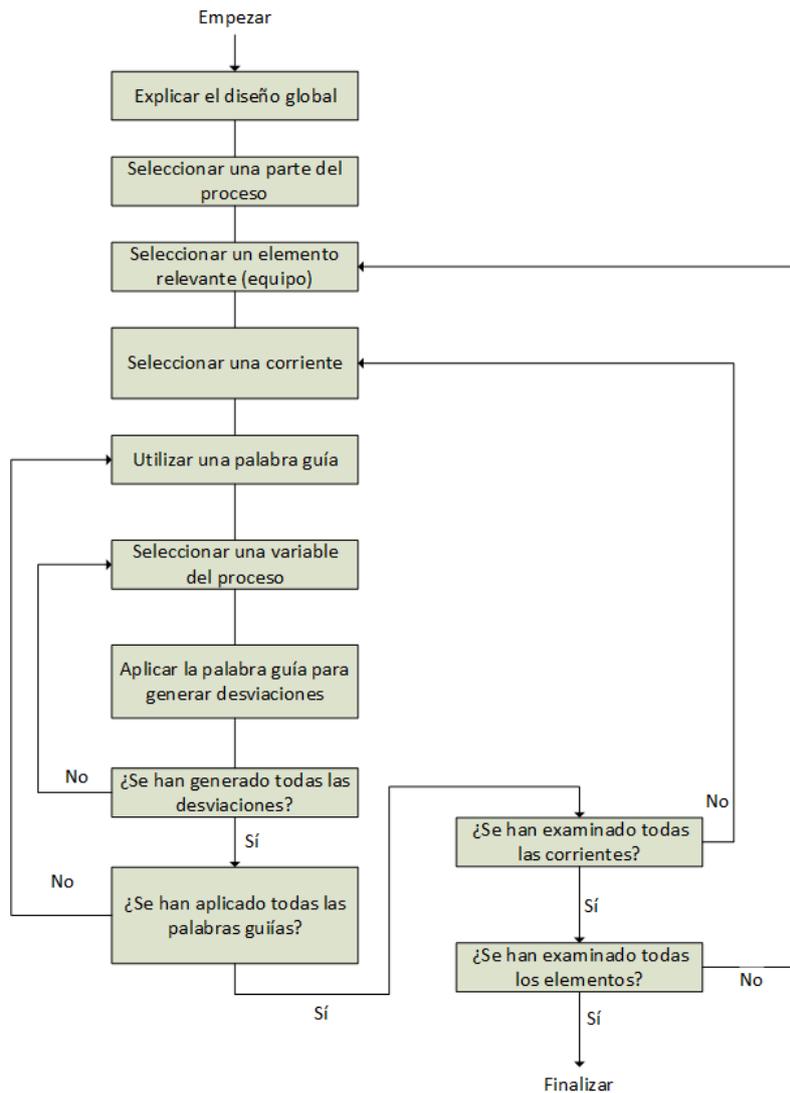


Figura 4: Algoritmo de ejecución del análisis HAZOP [22].

En la Tabla 5 se muestran algunos de los elementos que pueden estar involucrados a situaciones presentadas en el análisis de un proceso, relacionado con cada uno de los parámetros asociados al análisis HAZOP.

Tabla 5: Elementos de un proceso en relación con los parámetros del análisis HAZOP

Parámetro HAZOP	Parámetro proceso
Elementos (equipos)	Columnas, reactores, bombas, intercambiadores de calor
Corrientes	De Materia, de energía, servicios
Variables de proceso	Temperatura, presión, flujo, composición
Situación iniciadora de riesgos	Fallo humano, fallo equipo, fallo corriente de suministro, límite de operación, causas externas
Consecuencias en el proceso	Desviación en la cantidad y características del producto
Acciones correctivas	Accidentes operacionales Cambios de diseño de proceso Cambios en límites de operación Cambios en los sistemas de control

Finalmente, los resultados del análisis HAZOP se recogen en un informe final que deberá contener, al menos, la siguiente información:

- Enumeración de los nudos utilizados
- Análisis de los resultados obtenidos
- Lista de las acciones correctivas que tendrán lugar
- Lista de las causas posibles y consecuencias de la desviación causada por cada nodo utilizado

Como modo de ilustración en la aplicación del método HAZOP, considerar el diagrama (Figura 5) de un proceso tipo Batch que tiene como propósito producir productos farmacéuticos [16]. En el reactor R-1 ocurre la cloración de oxiclورو de fósforo para producir penta-cloruro de fósforo. En esta reacción los gases liberados (ácido clorhídrico) se neutralizan en la torre de lavado.

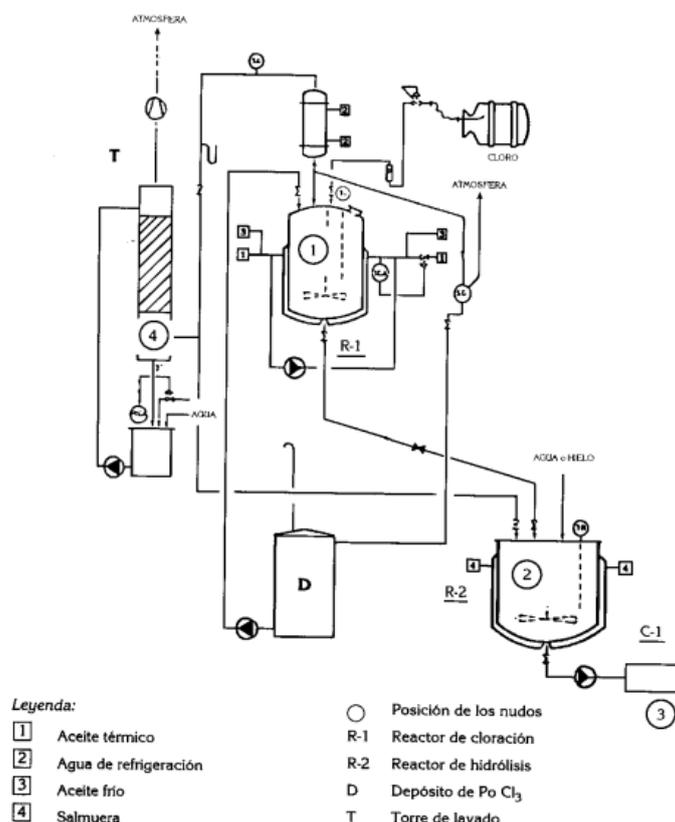


Figura 5: Ejemplo de un esquema sobre el que se puede aplicar el método HAZOP. Tomado de [16].

En la Tabla 6 se muestran una síntesis de los resultados que se pueden obtener al aplicar el método HAZOP. Esta será la forma en que se reportarán los resultados que se obtengan en el presente documento.

Sin lugar a dudas, el elemento más relevante del informe consiste en las medidas correctivas a tomar, con una prioridad de ejecución específica y que permitiría que la probabilidad de ocurrencia de los riesgos identificados mediante HAZOP disminuyera.

Tabla 6: Ejemplo resultados en el análisis HAZOP

Nodo 1: Reacción en el reactor R-1					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Lavado	No	No lavado	Fallo del operador por omisión	Restos del lote anterior (sin consecuencias)	Antes de empezar el siguiente lote, comprobar visualmente el reactor
	Otro	Lavado con otro fluido	Fallo del operador	Varía según la naturaleza de la sustancia	Revisar la correcta señalización de las mangueras

6. Revisión de la literatura

A continuación, se hace una breve revisión de la literatura, centrado especialmente a trabajos que aplican la metodología HAZOP a un equipo de proceso o a un proceso en su totalidad.

Lawley [23] fue el primero que definió y delimitó los principios necesarios para llevar a cabo un estudio de operabilidad y análisis de riesgos (HAZOP) en 1974 a causa de la complejidad siempre creciente de los nuevos procesos que no podían ser examinados de una manera completa utilizando los acercamientos tradicionales basados en prácticas orientadas a equipos.

Desde entonces, el número de publicaciones utilizando la metodología HAZOP se ha incrementado enormemente. De acuerdo con Dunjón et al. [24], los trabajos de literatura pueden ser clasificados en diferentes áreas en base a la intención y alcance del mismo, por ejemplo: trabajos de naturaleza introductoria a la metodología, comparación de HAZOP con otras técnicas de análisis de riesgos, trabajos que consideran factores humanos, áreas de compartimiento de experiencias HAZOP, HAZOP en sistemas electrónicos programables, automatización de HAZOP mediante sistemas expertos, HAZOP apoyado en simulación dinámica, entre otros.

Jung et al. [25] implementaron HAZOP en un proceso de adsorción criogénica de isótopos de hidrógeno, pudiendo identificar factores de riesgo y problemas de operación en el proceso. Por ejemplo, los autores identificaron que usar detectores de hidrógeno y de llama puede asegurar la seguridad primaria de los isótopos de hidrógeno. Adicionalmente, una forma de seguridad adicional en el proceso se obtuvo al monitorear los sistemas de instrumentación a través del registro de flujos, temperatura y presión, reduciendo el peligro y aumentando la seguridad en el proceso.

Por su parte, Zou et al. [26] utilizaron HAZOP para identificar los peligros en tanques de acero inoxidable que almacenaban desechos de líquidos radiactivos de alto nivel, implementando una matriz de riesgos para evaluar los riesgos planteados en el peligro por expulsión de reactividad de los tanques. Como resultado obtuvieron que la fuga en el tanque primario y la combustión/explosión en los tanques fueron los principales riesgos que debían ser monitoreados y estrictamente controlados para evitar eventos catastróficos causados por los tanques de almacenamiento de líquidos radiactivos.

El trabajo realizado por Villareal [18] sobre una planta a escala piloto de hidrocarbonilación de dimetiléter, mediante la metodología HAZOP, prestó especial énfasis en las desviaciones a las variables así como las causas y consecuencias sobre los equipos seleccionados. El proceso fue dividido en diferentes secciones que incluían, entre otros: una central de gases, líneas de suministro de materias primas, precalentadores, reactores y hornos, lazos de control de presión y mantas eléctricas. Como resultados primarios, el autor obtuvo diversas medidas correctivas. Por ejemplo: comprobación de fugas en las botellas de los contenedores de gases, revisiones periódicas en la instalación, instalación de diversos lazos de control y de alarmas conectadas a estos, entre otros.

Labovský et al. [27] realizaron una integración de un modelo matemático con el método HAZOP el cual les permitió la identificación de desviaciones inesperadas y una reducción dramática del tiempo para la identificación del riesgo. Esta integración fue aplicada a una unidad de producción de metil tert-butil éter (MTBE). Las variables analizadas fueron el flujo de metanol dirigido al reactor y aquel dirigido a la columna de destilación. Un análisis de estado estacionario les permitió determinar que existían múltiples soluciones; el análisis dinámico reveló que una desviación tiene una influencia marcada no solo durante la desviación, sino que también luego de su corrección. La ventaja del método utilizado es que se obtiene un entendimiento de sistemas complejos al analizar paralelamente los estados estacionarios y dinámicos junto con las respuestas a las desviaciones que se presenten.

Existen igualmente trabajos que realizan modificaciones y/o ampliaciones al método convencional de HAZOP. Por ejemplo, Cheraghi et al. [28] incorporaron factores de riesgo adicionales que incluían sensibilidad e inestabilidad a la falla en las medidas de seguridad, maneras de mejorar la efectividad el

mantenimiento más allá de evaluar solo la frecuencia y la severidad de los peligros. Adicionalmente, los autores implementaron la teoría “Fuzzy set” para poder manejar la incertidumbre asociado a los factores de riesgos, llamando al método FMA (“Fuzzu Multi-Attribute HAZOP”). Finalmente, los autores compararon los resultados obtenidos con FMA y HAZOP a una plataforma de pozo, demostrando que la primera se desempeña de una mejor forma con respecto al HAZOP convencional, aunque ciertamente consume mucho más tiempo.

7. Metodología

El procedimiento utilizado para la obtención de resultados que prevengan los riesgos existentes o potenciales en los procesos que se llevan a cabo en la empresa More S.A.S consistirá en lo siguiente:

- Recolección de la información existente interna de la empresa en cada una de sus etapas productivas y de envase (base de datos referente a estado de equipos, sustancias, fallas y errores, así como información directa con sus trabajadores).
- Realización de los diagramas P&ID de los procesos y su descripción detallada.
- Selección de una técnica de identificación de riesgos mediante la aplicación del método multicriterio Electre.
- Aplicación de la técnica de identificación de riesgos seleccionada a cada uno de los procesos de la empresa.
- Identificación de los riesgos potenciales físicos y químicos que pueden afectar los procesos.
- Recomendaciones destinadas a la prevención de la materialización de los riesgos identificados

8. Marco contextual

More Química de Colombia S.A.S es una empresa productora de insumos agrícolas y pecuarios de alta calidad, registrada como fabricante, formulador, importador, exportador y distribuidor por las resoluciones 3622, 2127 y 2497 vigente en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y su laboratorio está autorizado bajo el registro 3015 de 2014 para la producción principal de fertilizantes y plaguicidas. Desde 1985 se encuentra maquilando este tipo de productos con la razón social LER, que hacia el año 1991 cambio a More Química de Colombia S.A.S, incluyendo la maquila de productos veterinarios en el año 1996. Actualmente, su fuente de desarrollo económico son las etapas de formulación y envase por contrato.

8.1. Contexto externo

Su planta de producción está ubicada a 300 metros sobre las vías Soacha-Sibaté, dentro de la jurisdicción del municipio de Soacha, Cundinamarca. Para mejor detalle de las vías de acceso y localización ver *Fuente: More Química de Colombia S.A.S*

Figura 6 y Tabla 7.

Tabla 7: Coordenadas empresa More S.A.S

Coordenadas Planas	N: 993776 E: 981567
Coordenadas geográficas	4° 32' 23,64 "N 74° 14 ' 43, 46 " W



Fuente: More Química de Colombia S.A.S

Figura 6: Mapa de ubicación empresa More S.A.S.

Está ubicada en la cordillera Oriental, al costado suroccidental del altiplano denominado Sabana de Bogotá, sobre una zona geología de estratos sedimentarios, colinda con el cuerpo de agua superficial

Quebrada la Chacua. Además, la organización se encuentra ubicada en medio de una zona con uso predominantemente industrial, con pequeñas agrupaciones de comercio, las instalaciones cercanas se nombran en la Tabla 8.

Tabla 8: Instalaciones cercanas a la empresa More S.A.S.

Instalación	Descripción de la instalación
Barrio Pablo Neruda	Pertenece al municipio de Sibaté, ubicado a 1.5 Km de la intersección de la vía Soacha – Granada, encontrándose sobre la calzada de la vía Soacha-Sibaté.
Estación de servicio ESSO MOBIL KM 0 Soacha Granada	Estación de combustible localizada a aproximadamente a 500 metros de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Limor de Colombia S.A.	Es una organización del mismo grupo empresarial de More Química de Colombia S.A.S, que se dedica a la producción de vacunas para el sector agroindustrial, n su área de maquila o producción comparte el mismo acceso para ambas industrias, localizándolas en la misma dirección municipal, de tal manera que comparten la misma zona de acceso industrial.
Embalse del Muña	Obra civil localizada a aproximadamente 1,4 Km de la planta de More Química de Colombia S.A.S., construida hacia 1940 con el propósito de colectar las aguas de los ríos Aguas Claras y Muña, para posteriormente en 1970 trasvasar agua del río Bogotá.
Textiles Konkord S.A.	Industria de textiles localizada a aproximadamente 130 metros de la planta de More Química de Colombia S.A.S., en la zona circundante desde el año 1977.
Gerdau Diaco	Empresa de fabricación de aceros largos, localizada aproximadamente a 28 metros aproximadamente de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Proteínas y Energéticos de Colombia, Proteicol S.A.S.	Industria dedicada a la elaboración de materias primas para alimentos de concentrados para animales, localizada aproximadamente a 1 km de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Estación de Servicio Petrobras	Estación de servicio de combustible localizada a aproximadamente 670 metros de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Tecnitanques Ingenieros S.A.S.	Industria dedicada a la construcción y montaje de estructuras metálicas y equipos, localizada a aproximadamente a 700 metros de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Planta Proalco S.A.S	Industria dedicada a la transformación y revestimiento del acero, localizada a aproximadamente a 1,2 Km de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
JADESI S.A.	Fabricante de silicatos de sodio, con operaciones desde 1986, localizada a aproximadamente a 42 metros de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Henkel Colombia S.A.S.	Organización de Tecnologías Adhesivas, ubicada en el municipio de Sibaté desde el 2016, localizada a aproximadamente a 1,2 Km de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Eternit Colombia S.A.	Organización multinacional de origen suizo, dedicada a la producción de materiales para la construcción, localizada a aproximadamente a 1 Km de la planta de More Química de Colombia S.A.S.

Instalación	Descripción de la instalación
Stanton S.A.S.	Grupo empresarial dedicado a la fabricación de calzado y productos de caucho, localizada a aproximadamente a 1,5 Km de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Desarrollos Innovación y Suministros S.A.S, DISPRODUCTS	Compañía manufacturera de productos eléctricos y de telecomunicaciones, asentada en la zona industrial del embalse del Muña desde el año 2012, localizada a aproximadamente a 870 m de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Cementerio Campos de Cristo	Cementerio tipo parque localizado a aproximadamente a 800 m de la planta de More Química de Colombia S.A.S.
Negocios de Comercio	Locales comerciales de floristería y restaurantes ubicados en las inmediaciones de la estación de servicio.

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

8.2. Contexto interno

Dentro de sus instalaciones cuenta con las áreas de producción, control de calidad, almacén, depósito y mantenimiento al servicio de sus clientes. La ocupación de las principales áreas de la planta se presenta a continuación.

Tabla 9: Área ocupada por las secciones en que se divide la empresa More S.A.S.

Nombre	Ocupación (m²)
Almacenamiento de materias primas	388,33
Almacenamiento de material de envase y etiquetas	309,78
Almacenamiento de producto terminado	870,47
Fabricación o formulación	287,39
Envasado o empacado	333,77
Laboratorio de control de calidad	65,17
Manejo y eliminación de residuos	133,67
Planta de tratamiento de aguas residuales	36,56
ÁREA OCUPADA	4791,79
ÁREA DISPONIBLE	7513,21
ÁREA TOTAL	12305

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

More Química de Colombia S.A.S ha definido sus procesos de la siguiente manera; Producción, Control de Calidad, Almacén, Bodega de Producto Terminado, Mantenimiento, Administración y Sistema integrado. A grandes rasgos, producción se encarga de la formulación y el envase, control de calidad de la inspección de los procesos y el análisis de las materias primas y producto terminado, almacén realiza la logística de los materiales y materias primas, bodega de producto terminado almacena el producto a comercializar y realiza los despachos, mantenimiento garantiza el buen estado de los equipos y áreas, administración, la asistencia de los procesos y el sistema integrado se encarga de calidad, ambiente, seguridad y salud en el trabajo.

Principalmente, al ser una empresa cuya actividad económica es la maquila, las actividades de todas las áreas se centran en el proceso de Producción, por ejemplo, Control de Calidad inspecciona todas las actividades del proceso productivo, analiza y emite concepto (aprobado/rechazado/cuarentena) a los materiales y materias primas que Almacén dispensa a Producción para realizar sus procesos y obtener el producto terminado que se entrega a la Bodega de Producto Terminado para generar la comercialización con los clientes. Por lo cual, se presenta de manera detallada el proceso productivo.

8.2.1. Descripción procesos de producción

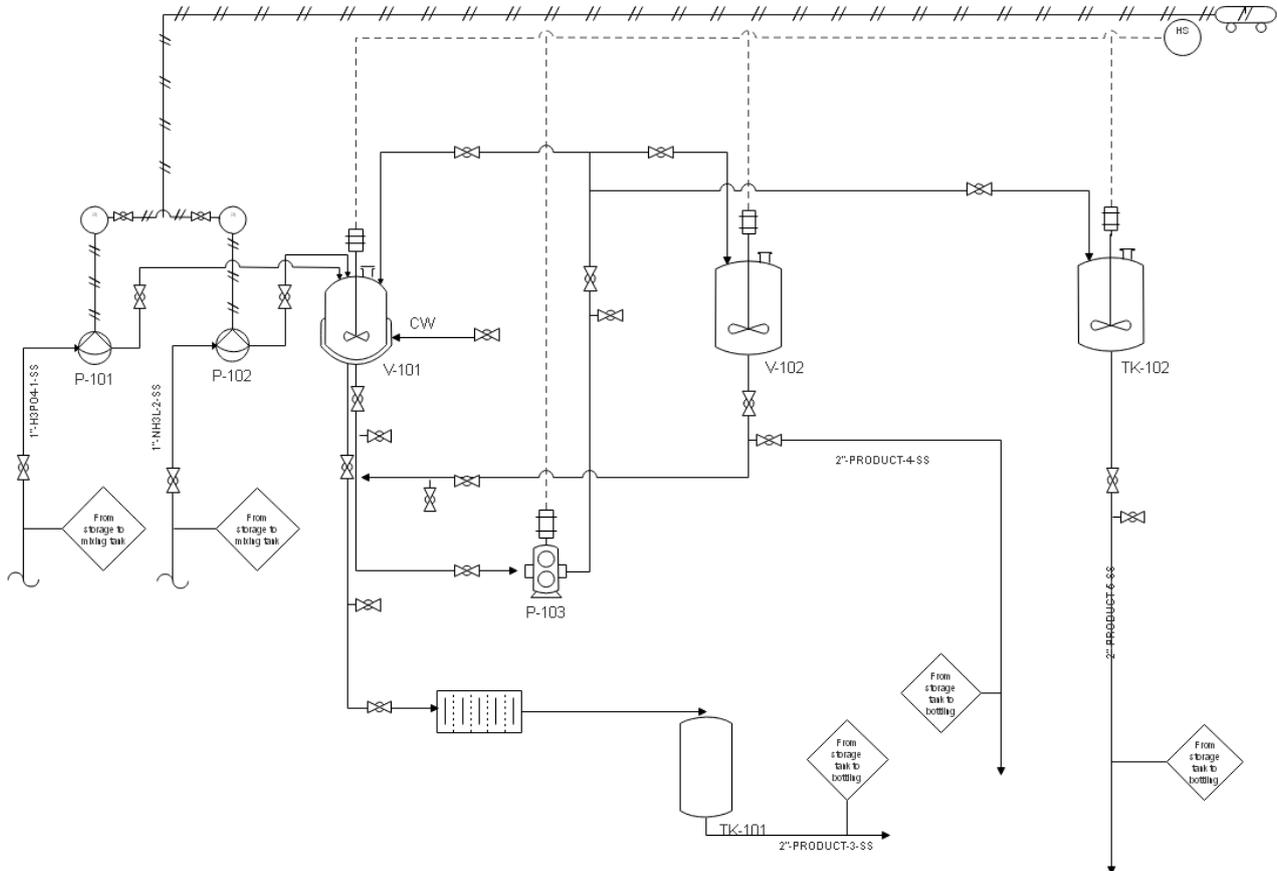
En la empresa se fabrican tres tipos de productos, según su modo de acción, fertilizantes, plaguicidas agrícolas y plaguicidas pecuarios, para ello, se han destinado áreas independientes, principalmente, los plaguicidas pecuarios de los fertilizantes y plaguicidas agrícolas. El análisis que se describe en este documento se realizó inicialmente para cada uno de los fertilizantes y plaguicidas que la empresa fabrica. Sin embargo, antes de la culminación del mismo solo se recibió autorización para publicar por cada fertilizante y plaguicida 2 productos.

La lista de los equipos y sustancias utilizados en cada uno de los procesos se muestran en la sección 4.3.1 y 4.3.2, respectivamente. Los diagramas P&ID fueron creados mediante el Software Edraw Max Version 9.1.

8.2.1.1. Proceso productivo de fertilizantes

More Química S.A.S fabrica alrededor de 12 fertilizantes foliares y, según su actividad, pueden producirse fertilizantes a base de aminoácidos o fertilizantes del tipo NPK. La autorización de la descripción del proceso fue dada para estos dos últimos.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de tubería e instrumentación del proceso de producción de fertilizantes. En el tanque V-101 se produce el fertilizante tipo NPK, mientras en el tanque V-102 los fertilizantes a base de aminoácidos. El producto de estos se dirige al tanque de almacenamiento TK-101 y TK-102. No obstante, el efluente de V-101 se pasa previamente por el filtro. Cada uno de los tanques cuenta con un sistema de agitación. La apertura de las válvulas se realiza de manera neumática. La bomba P-103 y las aspas de agitación de los tanques utilizan una fuente de electricidad. A continuación, se explica el proceso acotado a cada fertilizante.

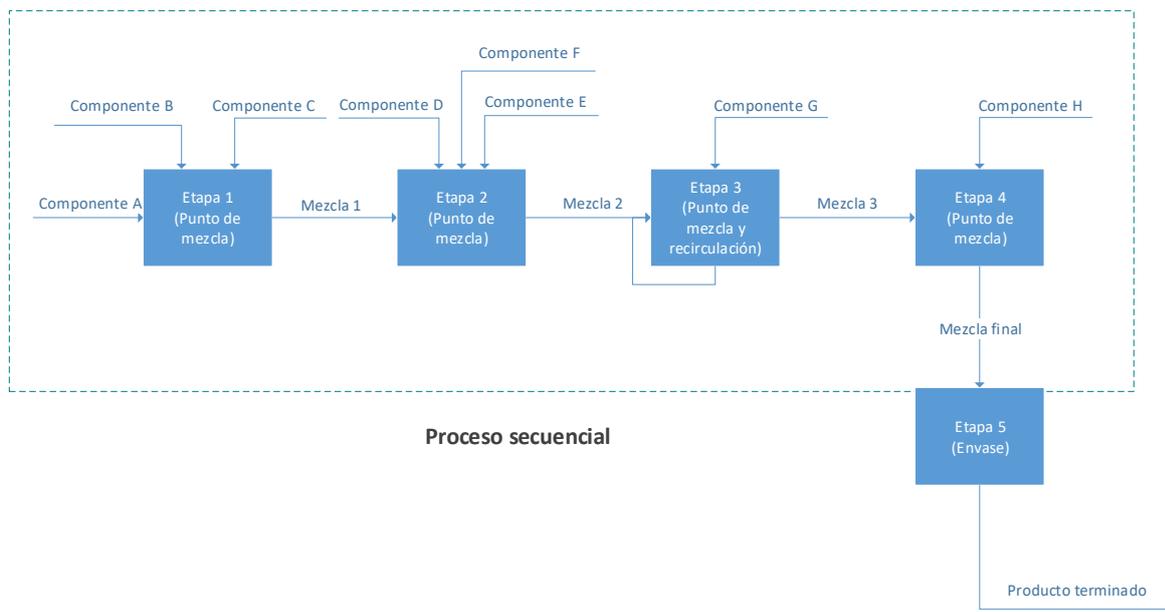


Fuente: Autor

Figura 7: Diagrama P&ID del proceso de producción de fertilizantes en la empresa More S.A.S.

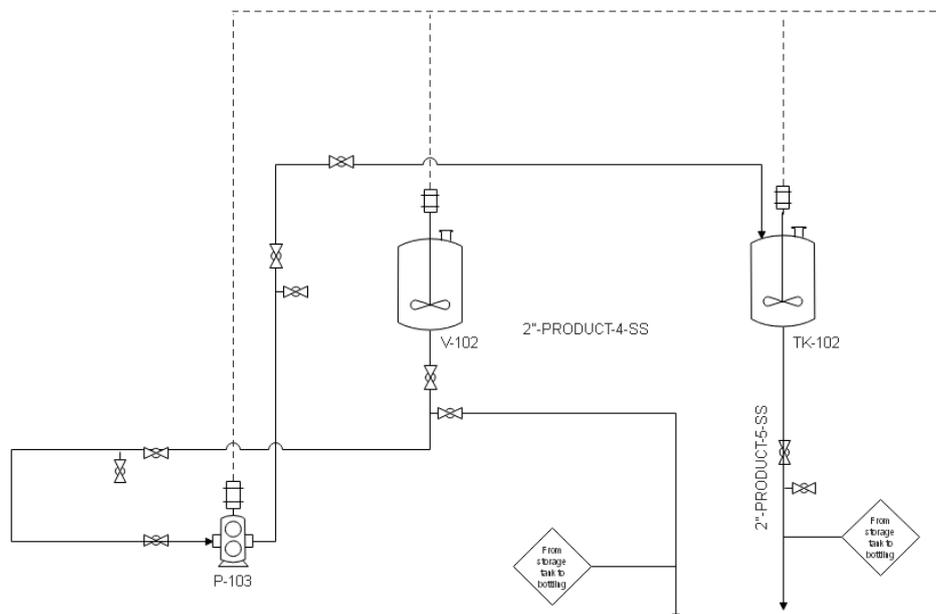
➤ *Fertilizante a base de aminoácidos*

En estos procesos todos los componentes (desde el A hasta el H) se cargan manualmente sin que ocurra reacción alguna. El sistema de agitación debe estar encendido a partir de la adición del componente B hasta finalizar. Es importante tener en cuenta los tiempos de mezcla en cada etapa del proceso (2 horas del A-C, 9 horas del E-F y 2 horas luego de G y H) porque es necesario lograr la homogeneización de cada etapa de mezcla para poder continuar con la adición de los componentes subsecuentes. También es importante mantener el orden de la formula, ya que los tensoactivos o antiespumantes pueden alterar el proceso. Por otra parte, es de vital significancia la circulación del producto final a través de la bomba de engranajes hasta el tanque de almacenamiento para poder romper las acumulaciones de solidos que se puedan presentar.



Fuente: *More Química de Colombia S.A.S*

Figura 8: Diagrama de bloques del proceso de producción del fertilizante a base de aminoácidos



Fuente: *Autor*

Figura 9: Diagrama P&ID del proceso de producción del fertilizante a base de aminoácidos

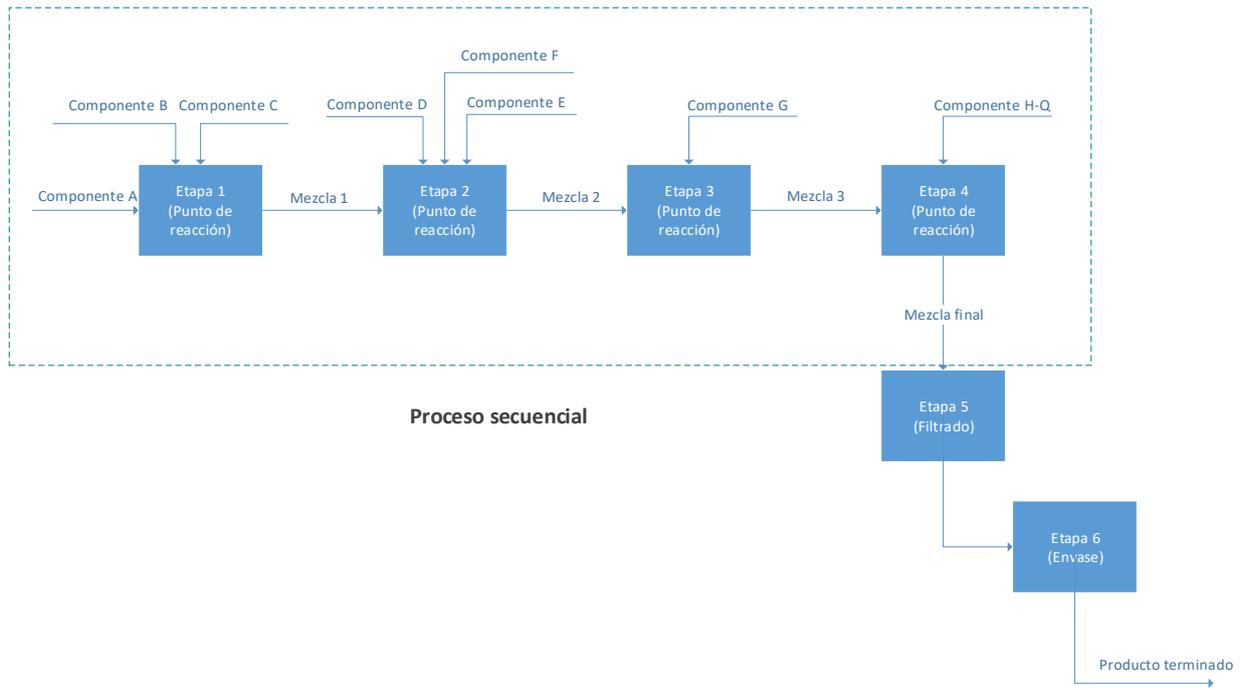
Tabla 10: Condiciones de operación del proceso de producción del fertilizante a base de aminoácidos

PROCESO	ENTRADA			CONDICIONES			SALIDA		
	Corriente	Sistema de alimentación	Cantidad	Temperatura	Tiempo de proceso	Presión	Cantidad	Concentración	Densidad
Etapa 1	Componente A	Manual	927 Kg	18-21°C	2 h	Atmosférica	1570 L	Nitrógeno total: Mínimo 58,5g/L Potasio soluble: Mínimo 30,1g/L Aminoácidos libres: Mínimo 193,3g/L Fosforo asimilable: Mínimo 27g/L	1,19 - 1,23 g/mL
	Componente B	Manual	3,7 Kg						
	Componente C	Manual	4,4 Kg						
Etapa 2	Mezcla 1	-			9h				
	Componente D	Manual	12,45 Kg						
	Componente E	Manual	62 Kg						
Etapa 3	Componente F	Manual	839,9 Kg		2h				
	Mezcla 2	-							
Etapa 4	Componente G	Manual	9 Kg		3h				
	Mezcla 3	-							
	Componente H	Manual	27Kg						

Fuente: Autor

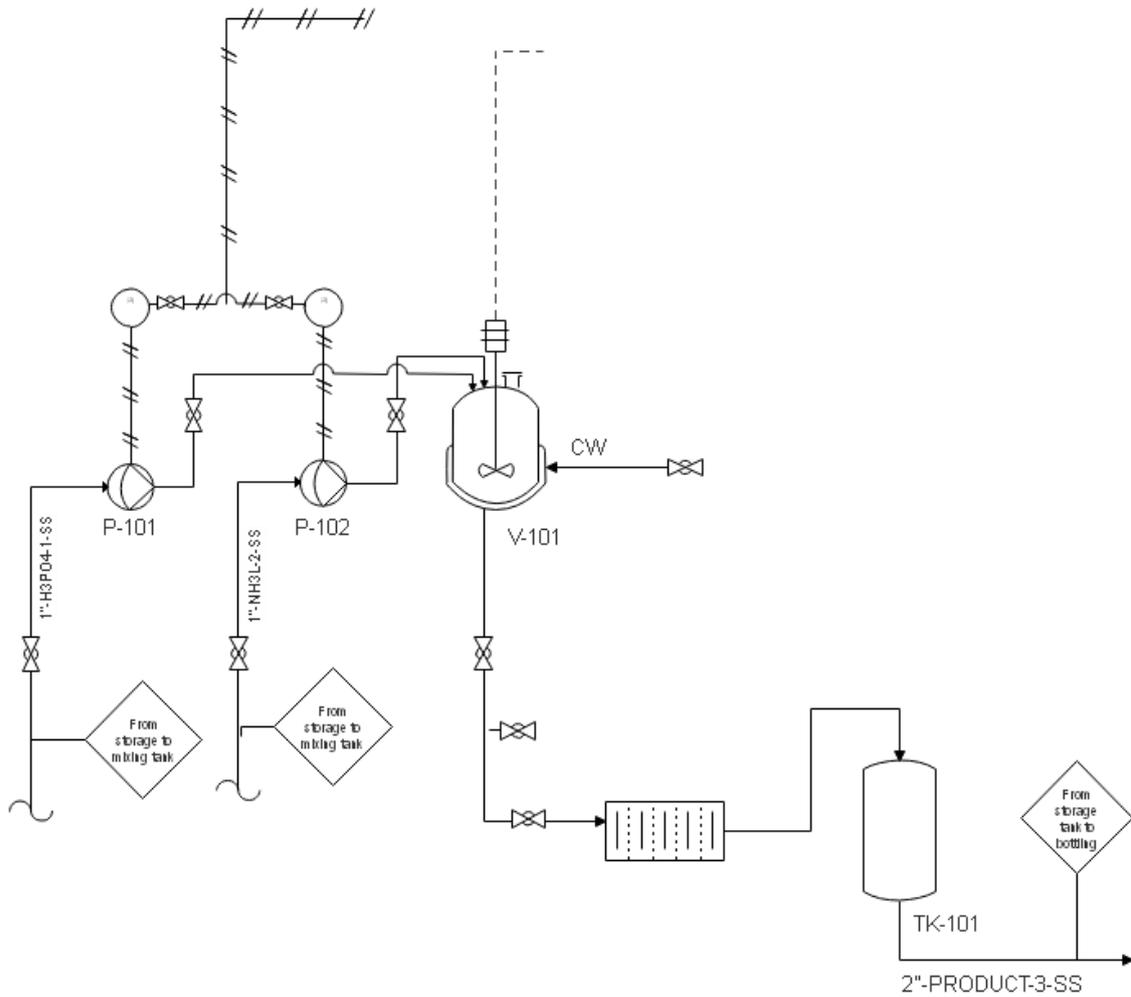
➤ *Fertilizantes tipo NPK*

El proceso comienza con el cargado del componente A en su totalidad al tanque de formulación V-101 junto con agua potable. A continuación, el componente B en su totalidad, de manera lenta. En este momento se produce una reacción exotérmica que eleva la temperatura hasta 110°C. En este punto es importante que el agua de enfriamiento esté en continua circulación en la chaqueta desde el inicio del proceso, así como el sistema de agitación. De lo contrario, puede ocurrir evaporación de las sustancias ya cargadas. Luego se carga el componente C en su totalidad, manteniendo el tanque cerrado, a través de la bomba de diafragma y así neutralizar la reacción. Esta mezcla se deja en el tanque durante un máximo de 30 minutos para luego continuar adicionando el componente D, el cual ayuda a disminuir la temperatura del proceso. Seguidamente, se adiciona los componentes E y F. Esta mezcla permanece hasta 9 horas en agitación, aunque en ciertas ocasiones se bombea el componente G para ayudar a la disolución de los componentes. Es importante resaltar que el orden de adición es vital para lograr una correcta disolución de los componentes, así como las características del producto. Posteriormente se cargan los componentes H y Q manualmente. Los componentes E, L, M y N se adicionan en disolución para facilitar la homogenización de la mezcla en el tanque. E y N se disuelven en medio acuosa mientras L y M en medio ácido. Finalmente, se retira el producto del tanque, se filtra y se pasa al tanque de almacenamiento TK-101.



Fuente: Autor

Figura 10: Diagrama de bloques del proceso de producción del fertilizante tipo NPK



Fuente: Autor

Figura 11: Diagrama P&ID del proceso de producción del fertilizante tipo NPK

Tabla 11: Condiciones de operación del proceso de producción del fertilizante tipo NPK

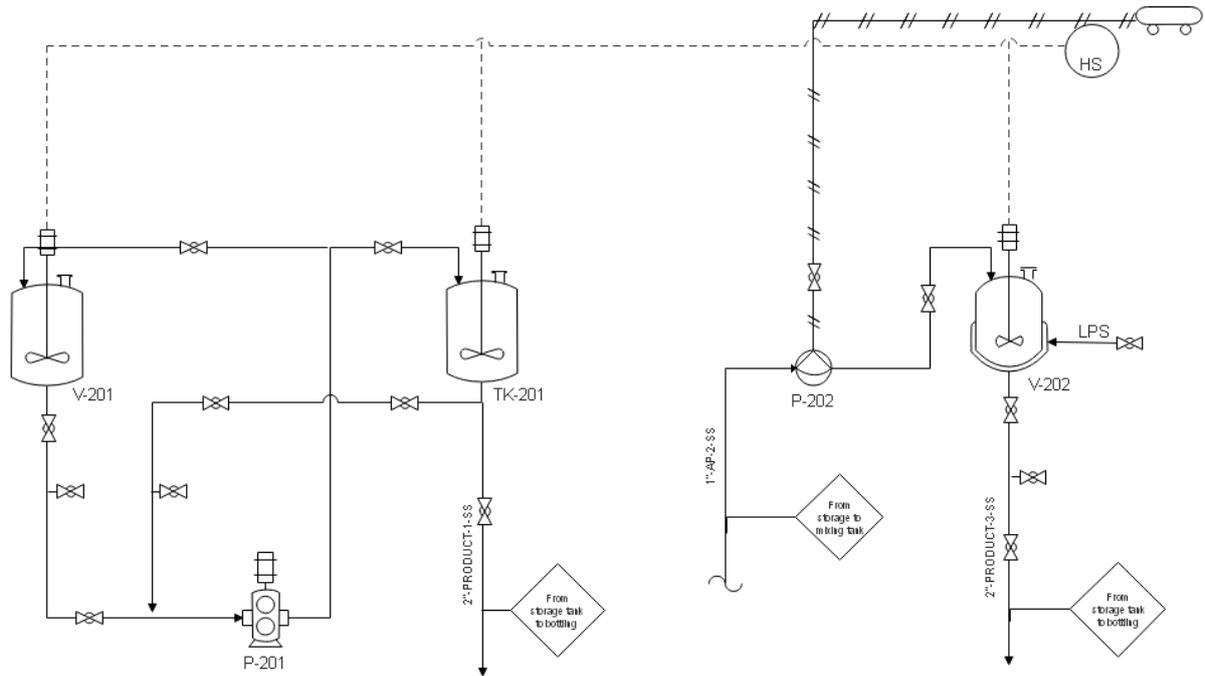
PROCESO	ENTRADA			CONDICIONES			SERVICIOS	SALIDA			
	Corriente	Sistema de alimentación	Cantidad	Temperatura	Tiempo de proceso	Presión		Cantidad	Concentración	Densidad	
Etapa 1	Componente A	Manual	2400 Kg	90-110°C	0,5 h						
	Componente B	Manual	556,6 Kg								
	Componente C	Bomba	1566,6 Kg								
Etapa 2	Mezcla 1	-		80-100°C	9h						
	Componente D	Manual	410 Kg								
	Componente E	Manual	333,2 Kg								
	Componente F	Manual	1626,6 Kg								
Etapa 3	Mezcla 2	-		80-100°C	2h						
	Componente G	Bomba	700 Kg								
Etapa 4	Mezcla 3	-		30-70°C	3h	Atmosférica	Agua de enfriamiento a 15°C por camisa durante todo el proceso	6000L			Nitrógeno total: Mínimo 92,57g/mL Fosforo asimilable: Mínimo 290,28g/L Potasio soluble: Mínimo 92,84g/L y menores.
	Componente H	Manual	106,6 Kg								
	Componente I	Manual	24 Kg								
	Componente J	Manual	40 Kg								
	Componente K	Manual	33 Kg								
	Componente L	Manual	6,33 Kg								
	Componente M	Manual	0,93 Kg								
	Componente N	Manual	6 Kg								
	Componente O	Manual	5,33 Kg								
	Componente P	Manual	0,27 Kg								
	Componente Q	Manual	9,06 Kg								

Fuente: Autor

8.2.1.2. Proceso productivo de plaguicidas agrícolas

More Química de Colombia S.A.S fabrica diferentes plaguicidas agrícolas. Según su actividad puede producir herbicidas, insecticidas y fungicidas; según su formulación, suspensiones concentradas (SC), concentrados emulsionables (EC), líquidos solubles (SL), polvos secos (DP), entre otros. La autorización de la descripción del proceso fue dada para dos plaguicidas con diferente actividad y diferente formulación: Fungicida SC e Insecticida EC-

En la Figura 12 se muestra el diagrama de tubería e instrumentación del proceso de producción de plaguicidas. En el tanque V-202 se produce el Insecticida EC con alimentación de vapor proveniente de la caldera, mientras que en el tanque V-201 se produce el Fungicida SC. El producto de estos se dirige a los tanques de almacenamiento TK-201 y TK-202, respectivamente. Cada uno de los tanques cuenta con un sistema de agitación. La apertura de las válvulas se realiza de manera neumática. La bomba P-201 y las aspas de agitación de los tanques utilizan una fuente de electricidad. A continuación, se explica el proceso acotado a cada plaguicida.

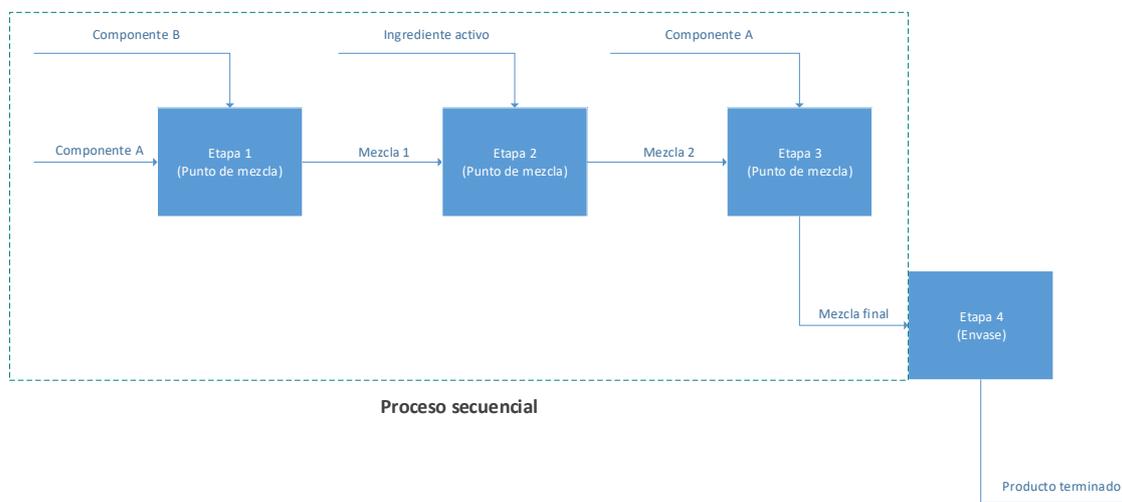


Fuente: Autor

Figura 12: Diagrama P&ID del proceso de producción de plaguicidas en la empresa More S.A.S.

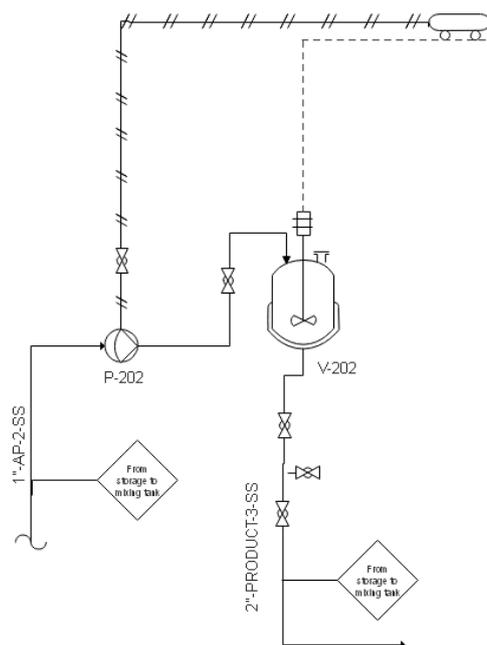
➤ *Insecticida EC*

El proceso empieza con el bombeo del componente A al tanque y posterior encendido del sistema de agitación. Luego se bombea el componente B en su totalidad, seguido del Ingrediente Activo que se encuentra en estado sólido. Se permite que el ingrediente activo se solubilice en los demás componentes dejando la mezcla por cerca de 3 horas en constante agitación. Seguidamente se inicia el proceso de calentamiento con vapor que entra a 120°C, permitiendo una temperatura máxima de hasta 50°C en el tanque que permita la solución completa del Componente Activo. Cerca de la culminación del proceso se bombea de nuevo el componente A para reponer la cantidad vaporizada en el transcurso del mismo, garantizando de esta manera la concentración de A en el producto final.



Fuente: Autor

Figura 13: Diagrama de bloques del proceso de producción del Insecticida EC



Fuente: Autor

Figura 14: Diagrama P&ID del proceso de producción del Insecticida EC

Tabla 12: Condiciones de operación del proceso de producción del Insecticida EC

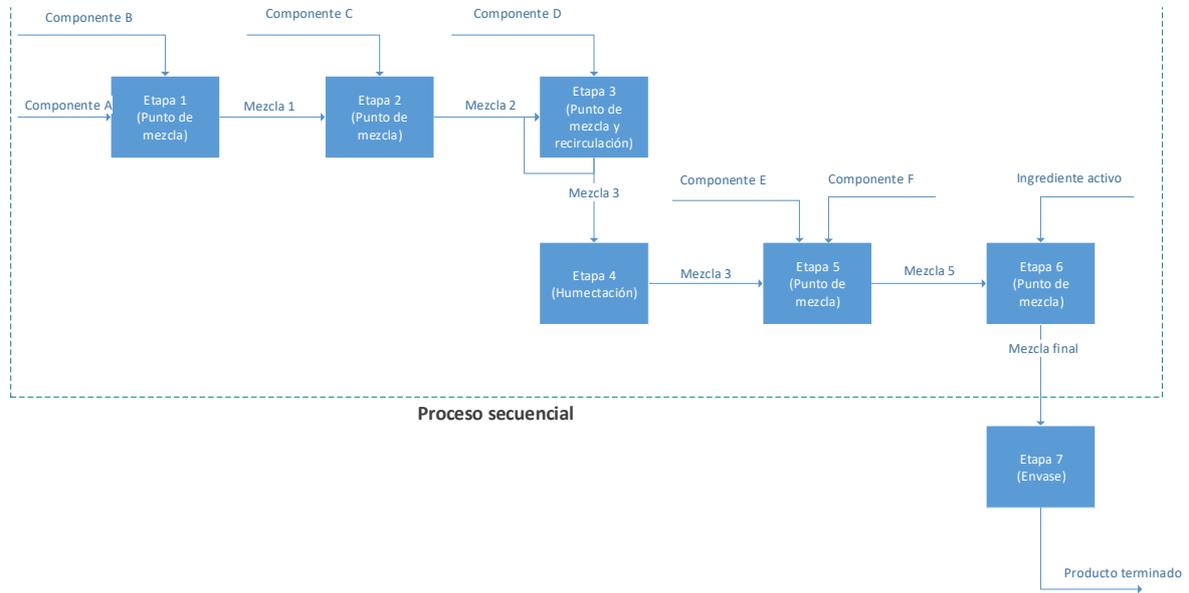
ENTRADA			CONDICIONES			SERVICIOS	SALIDA		
Corriente	Sistema de alimentación	Cantidad	Temperatura	Tiempo de mezcla	Presión		Cantidad	Concentración	Densidad
Componente A	Bombeo	1086 kg	18-21°C	0-15 min	Atmosférica	N/A	3000L	480g/L (Ingrediente activo)	1 – 1,2 g/mL
Componente B	Bombeo	720Kg							
Mezcla 1	-	1806 Kg	18-21°C	3h	Atmosférica				
Ingrediente activo	Manual	1485 Kg							
Mezcla 2	-	3291 kg	40-50°C	1h	Atmosférica	Vapor a 100-110°C (aprox)			
Componente A	Manual	15Kg							

Fuente: Autor

➤ Fungicida SC

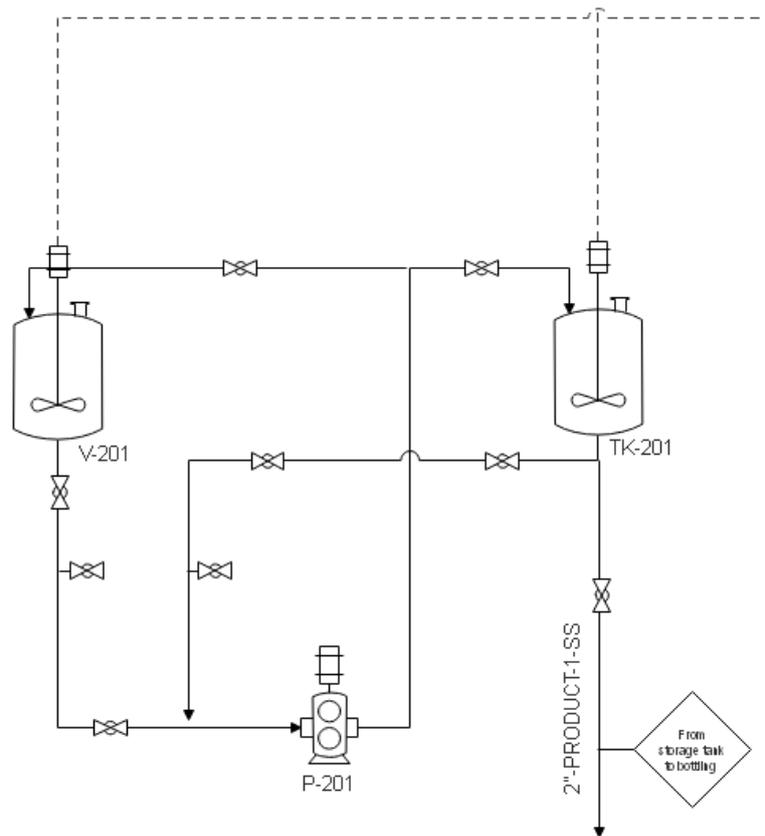
En este proceso todos los componentes (desde el A hasta el F) se cargan manualmente sin que ocurra reacción alguna. El sistema de agitación debe estar encendido a partir de la adición del componente B hasta finalizar. Los tiempos de mezcla en cada etapa del proceso son importantes; hasta el mezclado de C transcurre 1 hora. A partir de este se incrementa el tiempo de mezcla: Al adicionar D la mezcla se deja por 12 horas para permitir que el componente logre una humectación homogénea y requerida en el producto acabado. El cargado de E, F y el ingrediente activo implican otras 6 horas. También es importante mantener el orden de la formula, ya que los tensoactivos o antiespumantes pueden alterar el proceso. Por otra parte, es de vital significancia la circulación del producto final a través de la bomba

de engranajes hasta el tanque de almacenamiento. Esto se realiza por dos motivos: El primer es para poder romper las acumulaciones de solidos que se puedan presentar. El segundo se debe que a las cargas elevadas de material que se manejan y debido a la poca potencia que suministra el motor del tanque V-201, el producto debe ser transportado a TK-201 cuya potencia de motor es mayor y posee un emulsionador, posibilitando la culminación de la agitación y la completa disolución del Ingrediente activo.



Fuente: Autor

Figura 15: Diagrama de bloques del proceso de producción del Fungicida EC



Fuente: Autor

Figura 16: Diagrama P&ID del proceso de producción del Fungicida SC

Tabla 13: Condiciones de operación del proceso de producción del Fungicida SC

PROCESO	ENTRADA			CONDICIONES			SALIDA		
	Corriente	Sistema de alimentación	Cantidad	Temperatura	Tiempo de proceso	Presión	Cantidad	Concentración	Densidad
Etapa 1	Componente A	Manual	1524 Kg	18-21°C	10 min	Atmosférica	2800 L	500 g/L (Ingrediente activo)	1,15 - 1,17 g/mL
	Componente B	Manual	8,7Kg						
Etapa 2	Mezcla 1	-	-	18-21°C	45 min	Atmosférica			
	Componente C	Manual	10 Kg						
Etapa 3	Mezcla 2	-	-	18-21°C	4h	Atmosférica			
	Componente D	Manual	6 Kg						
Etapa 4	Mezcla 3	-	-	18-21°C	12h	Atmosférica			
Etapa 5	Mezcla 3	-	-	18-21°C	2h	Atmosférica			
	Componente E	Bomba	198,2 Kg						
	Componente F	Manual	75 Kg						
Etapa 6	Mezcla 5	-	-	18-21°C	4h	Atmosférica			
	Ingrediente activo	Manual	1443,2 Kg						

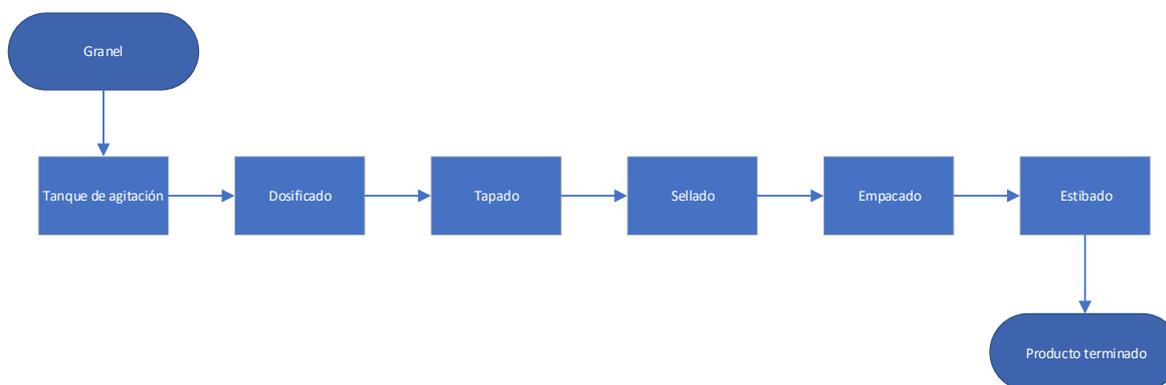
Fuente: Autor

8.2.1.3. Descripción proceso de envasado

Este proceso demanda el mayor volumen de los procesos productivos que se realizan en More S.A.S, realizando el envase de acuerdo a:

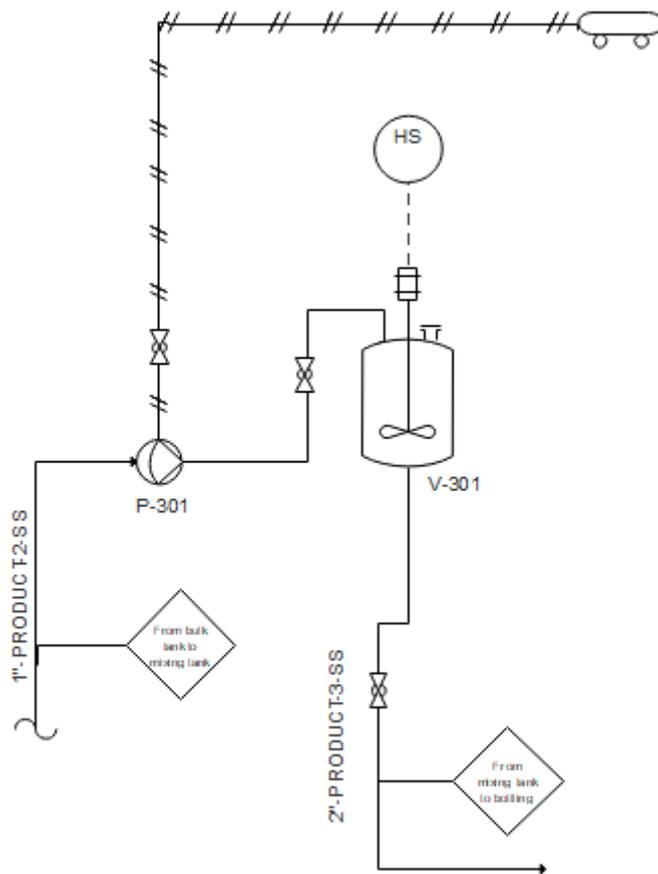
- Su actividad: plaguicidas agrícolas, fertilizantes y plaguicidas pecuarios.
- Su origen o fuente: fabricados (in-house) e importados.

Por esta razón el número de sustancias manejadas en esta actividad aumentan en comparación con el proceso de formulación. En general, un proceso de envase en la empresa se rige por la secuencia mostrada en la Figura 17.



Fuente: Autor

Figura 17: Diagrama de bloques del proceso de envasado en la Empresa More S.A.S.



Fuente: Autor

Figura 18: Diagrama P&ID del proceso de envase acotado hasta el tanque de agitación

Granel: Plaguicidas o fertilizantes formulados o importados.

Tanque de agitación: Para garantizar la estabilidad del producto, evitando la sedimentación o separación de la mezcla, el granel se alimenta a un tanque de agitación que trabaja en continuo.

Dosificado: El granel dispuesto en el tanque alimenta constantemente un equipo dosificador que regula la cantidad deseada según el volumen que se desea obtener según la presentación.

Tapado: Una vez se ha revisado que el volumen del envase sea el correcto se procede a tapar el frasco con el atornillador neumático.

Sellado: Con la ayuda de una banda transportadora y una selladora de inducción térmica, el envase ya tapado pasa por el túnel de calor del equipo y sella térmicamente el liner metálico que trae la tapa

Empacado: Dependiendo de la presentación establecida previamente por el cliente para el producto terminado, se empaqueta en cajas de cartón la cantidad de unidades, obteniendo finalmente el producto terminado.

Producto terminado: Embalaje en cajas de cartón de producto envasado en la presentación requerida por el cliente: 24mL, 48mL, 100mL, 250mL, 500mL, 1L, 4L, 10L, 20L.

La figura 18, muestra el tanque de agitación donde se disponen los graneles de producto importado antes de envase para realizar la respectiva homogeneización, porque, algunos productos presentan separación después de determinado tiempo. En el caso de envase de los productos fabricados en la empresa, los tanques (TK) cumplen la misma función que este sistema mostrado.

8.2.2 Descripción de los equipos

8.2.2.1 Equipos proceso productivo fertilizantes

➤ Estación de bombeo para alimentación

Se encuentra destinada dentro el área un punto de bombeo de dos sustancias químicas, por el volumen manejado en la fabricación de fertilizantes y el peligro que estas representan. Son dos sustancias corrosivas y tóxicas. En la siguiente tabla se describen los equipos presentes

Tabla 14: Equipos en la estación de bombeo del proceso de fertilizantes.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	P-101 y P-102 Bomba de diafragma con desplazamiento positivo, en polipropileno, con alimentación neumática. Está compuesta por un par de membranas, en eje que las une, una válvula distribuidora de aire y cuatro válvulas de esfera.	2	Velocidad de flujo: 0-12 GPM Presión del aire: Hasta 125 psi
	Manómetro con regulador de presión manual, unidades en psi y MPa, se acopla a la línea de aire.	2 (Uno por cada bomba)	Rango de medida: 0-150psi

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Sistema de tanques formulación fertilizantes tipo NPK

Dentro del área de fabricación de fertilizantes se cuenta con 4 tanques, algunos con un fin específico y otros multifuncionales, a continuación, se describen los utilizados cuando se formulan fertilizantes tipo NPK.

Tabla 15: Equipos en la sección de fabricación del proceso de fertilizantes.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	V-101 Tanque de mezcla para fabricación con chaqueta de enfriamiento, en acero inoxidable, con fondo y techo redondo, cuenta con acceso superior por <i>manhole</i> y sistema de agitación.	1	Capacidad máxima: 3000L
	TK-101 Tanque de almacenamiento, cerrado, en fibra de vidrio, con fondo y techo plano.	1	Capacidad máxima: 6000L
	Motor eléctrico con reductor de velocidad, de acople directo a un eje dotado de dos hélices, cuenta con control ON/OFF desde un tablero puesto en planta.	1	Velocidad: 1700rpm Potencia: 2HP

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Sistema de tanques formulación fertilizantes tipo aminoácidos

Tabla 16: Equipos en la sección de formulación del proceso de fertilizantes.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	V-102 Tanque de mezcla para fabricación, en acero inoxidable, con fondo y techo redondo, cuenta con acceso superior por <i>manhole</i> y sistema de agitación.	1	Capacidad máxima: 3000L

	<p>TK-102 Tanque de mezcla para almacenamiento en acero inoxidable, con fondo y techo redondo, cuenta con acceso superior por <i>manhole</i> y sistema de agitación.</p>	<p>1</p>	<p>Capacidad máxima: 3000L</p>
	<p>Motor eléctrico con reductor de velocidad, de acople directo a un eje dotado de dos hélices, cuenta con control ON/OFF desde un tablero puesto en planta.</p>	<p>1</p>	<p>Velocidad: 1700 rpm Potencia: 3HP</p>
	<p>Motor eléctrico de acople directo a un eje dotado de una hélice, cuenta con control ON/OFF desde un tablero puesto en planta.</p>	<p>1</p>	<p>Velocidad: 1700 rpm Potencia: 3HP</p>

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ *Punto de bombeo para recirculación y transporte entre equipos*

El sistema de tanques cuenta con un sistema de transporte por bomba entre ellos, por lo cual, es usual que los tanques de formulación principales se compartan en algunas ocasiones para los dos tipos de fertilizantes, al igual, este sistema de bombeo permite la recirculación de los productos.

Tabla 17: Equipos en la sección de bombeo del proceso de fertilizantes.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	<p>P-103 Bomba hidráulica que consta de dos engranajes, con sistema de transmisión mediante correas y poleas desde un motor eléctrico.</p>	<p>1</p>	<p>Flujo: 0.48-15.7 GPM Velocidad: 1700rpm Potencia: 6HP</p>

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Estación de filtro

Debido a las materias primas utilizadas para los fertilizantes tipo NPK se hace necesario filtrar el producto final, buscando retener las impurezas presentes durante la fabricación. Para esto, se cuenta con el siguiente equipo.

Tabla 18: Equipos en la estación de filtro del proceso de fertilizantes.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	Filtro prensa, de marcos y platos, en acero inoxidable.	1	NA

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Abastecimiento de agua potable

Tabla 19: Equipos en la sección de abastecimiento de agua potable del proceso de fertilizantes.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	Bomba de pistón-membrana con cabezal simple, pistón en bronce y dos válvulas de esfera. Con sistema de transmisión mediante correas y poleas desde un motor eléctrico.	1	Flujo: 4-10 GPM Potencia: 3HP Presión: 227 psi
	Tanque de almacenamiento en fibra de vidrio con techo redondo y acceso superior por <i>manhole</i> .	1	Capacidad máxima: 10000L

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ *Compresor de aire*

Tabla 20: Equipos de compresión del proceso de fertilizantes.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	Compresor tipo pistón, accionado por un motor eléctrico con sistema de transmisión mediante correas y poleas.	1	Tanque hidroneumático con 200L de capacidad. Presión máxima: 150 psi.

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

8.2.2.2 *Equipos proceso productivo plaguicidas*

➤ *Sistema de bombeo para alimentación*

Tabla 21: Equipos en la estación de bombeo del proceso de plaguicidas.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	P-202 Bomba de diafragma con desplazamiento positivo, en polipropileno, con alimentación neumática. Está compuesta por un par de membranas, en eje que las une, una válvula distribuidora de aire y cuatro válvulas de esfera. Uso exclusivo para el Insecticida EC	1	Velocidad de flujo: 0-12 GPM Presión del aire: Hasta 125 psi
	Manómetro con regulador de presión manual, unidades en psi y MPa, se acopla a la línea de aire.	1	Rango de medida: 0-150psi

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Sistema de tanques para la producción de Fungicida SC

Tabla 22: Equipos en la sección de producción del proceso de plaguicidas (Fungicida SC).

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	<p>V-201 Tanque de mezcla para fabricación, en acero inoxidable, con fondo y techo redondo, cuenta con acceso superior por dos <i>manhole</i> y sistema de agitación.</p>	<p>1</p>	<p>Capacidad máxima: 3000L</p>
	<p>TK-201 Tanque de mezcla para almacenamiento en acero inoxidable, con fondo y techo plano, cuenta con acceso superior y sistema de agitación.</p>	<p>1</p>	<p>Capacidad máxima: 4000L</p>
	<p>Motor eléctrico de acople directo a un eje dotado de dos hélices, cuenta con control ON/OFF desde un tablero puesto en planta.</p>	<p>1</p>	<p>Velocidad: 1500 RPM Potencia: 5.5HP</p>

	<p>Motor eléctrico de acople directo a un eje dotado de un emulsionador vertical, cuenta con control ON/OFF desde un tablero puesto en planta.</p>	<p>1</p>	<p>Velocidad: 2000 rpm Potencia: 10HP</p>
---	--	----------	---

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ *Tanque para la producción de Insecticida EC*

Tabla 23: Equipos en la sección de producción del proceso de plaguicidas (Insecticida EC).

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	<p>V-202 Tanque de mezcla para fabricación, en acero inoxidable, con fondo y techo redondo, cuenta con acceso superior por <i>manhole</i> y sistema de agitación.</p>	<p>1</p>	<p>Capacidad máxima: 3000L</p>
	<p>Motor eléctrico de acople directo a un eje dotado de una hélice, cuenta con control ON/OFF desde un tablero puesto en planta.</p>	<p>1</p>	<p>Velocidad: 1700 RPM Potencia: 2HP</p>

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Punto de bombeo para el transporte entre equipos

Tabla 24: Equipos de bombeo del proceso de plaguicidas.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	P-201 Bomba hidráulica que consta de dos engranajes, con sistema de transmisión mediante correas y poleas desde un motor eléctrico.	1	Flujo: 0.48-15.7 GPM Velocidad: 1700rpm Potencia: 6HP

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Caldera

Tabla 25: Equipos de generación de vapor del proceso de plaguicidas.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	Sistema de caldera compuesto de dos bombas de agua, quemador y válvulas.	1	Capacidad: 50 BHP Presión: 150 psi Combustible: ACPM

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

➤ Compresor

Tabla 26: Equipos de compresión del proceso de plaguicidas.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	Compresor tipo pistón, accionado por un motor eléctrico con sistema de transmisión mediante correas y poleas.	1	Tanque hidroneumático con 200L de capacidad. Presión máxima: 150 psi.

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

8.2.2.3 Equipos proceso de envase

Tabla 27: Equipos del proceso de envase.

Registro fotográfico	Descripción	Cantidad	Parámetros de operación
	<p>TK-301 Tanque de mezcla para envase de producto importado, en acero inoxidable con fondo y techo plano, cuenta con acceso superior y sistema de agitación. El sistema de agitación cuenta con motor eléctrico con reductor de velocidad acoplado a un eje dotado de dos hélices.</p>	1	<p>Capacidad máxima: 500L Potencia: 2HP Velocidad: 800rpm</p>
	<p>P-301 Bomba de diafragma con desplazamiento positivo, en polipropileno, con alimentación neumática. Está compuesta por un par de membranas, en eje que las une, una válvula distribuidora de aire y cuatro válvulas de esfera.</p>	1	<p>Velocidad de flujo: 0-12 GPM Presión del aire: Hasta 125 psi</p>

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

8.2.3 Descripción de las sustancias

El peligro que representa cada sustancia a los procesos productivos y de envase de la empresa será referenciado a través de las frases de peligro de acuerdo con el SGA (o frases H), las cuales están dadas en la Tabla 28.

Tabla 28: Declaraciones de riesgo (Frases H) [29].

Frase H	Significado
H226	Líquidos y vapores inflamables
H290	Puede ser corrosivo para los metales
H300	Mortal en caso de ingestión
H301	Tóxico en caso de ingestión
H302, H303	Nocivo en caso de ingestión
H311	Tóxico en contacto con la piel
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones

	oculares graves
H315	Provoca irritación cutánea
H317	Puede provocar una reacción alérgica en la piel
H318	Provoca lesiones oculares graves
H319	Provoca irritación ocular grave
H331	Tóxico en caso de inhalación
H334	Puede causar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación
H335	Puede causar irritación respiratoria
H340	Puede provocar defectos genéticos
H341	Se sospecha que provoca defectos genéticos
H350	Puede causar cáncer
H360	Puede perjudicar a la fertilidad o dañar al feto
H360FD	Puede dañar la fertilidad. Puede dañar al feto
H370	Provoca daños en los órganos
H373	Puede provocar daños en los órganos
H400	Muy tóxico para los organismos acuáticos
H410	Muy tóxico para los organismos acuáticos con efectos nocivos duraderos

8.2.3.1 Sustancias del proceso de fertilizantes

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de las sustancias químicas que intervienen en el proceso de producción de 1 fertilizante tipo NPK y 1 fertilizante tipo aminoácido.

Tabla 29: Información sobre las sustancias utilizadas en el proceso de producción fertilizantes de la empresa More S.A.S

Nombre	Descripción	T. ebullición [°C]	T. autoignición [°C]	T. inflamación [°C]	Frase H	Rótulo NFPA
Goma Xanthan	Polvo fino color crema Viscosidad: 1400cp Tamaño: Malla200 pH al 1% sln: 6-8	98	>200	83	N. A	
Formaldehido	Líquido incoloro con olor característico Densidad a 20°C: 1,08-1,11g/mL pH al 1%: 3-5	-20	430	N.A	H226, H301, H311, H314, H318, H317, H331, H341, H350, H335, H370	
Lignosulfonato de Sodio	Polvo fino de color marrón pH al 1%: 3.5-10.5	N.A	N.A	N.A	N.A	
Fosfato mono potásico	Sólido blanco cristalino, soluble en agua pH al 1%: 4-7	N.A	N.A	N.A	N.A	
Extracto de Levadura	Polvo de color blanco a crema	N.A	N.A	N.A	N.A	

	pH al 1%: 5-6					
Kapolgen AF 300	Líquido ligeramente blanco Densidad a 20°C: 1,01-1,03 g/mL pH al 1%: 6-8	NA	NA	NA	NA	NA
Nonilfenol 10 moles	Líquido translúcido, ligeramente amarillento, viscoso y olor fenólico pH 6-7,5 al 7%	295	370	140	H302, H319 H412	
Potasa caustica	Sólido blanco en escamas, higroscópico	1390	N.A	NA	H290, H303, H314	
Ácido fosfórico	Líquido transparente incoloro, inodoro y viscoso densidad a 20°C: 1,65-1,75g/mL	158	N.A	N.A	H290, H314	
Urea	Sólido blanco cristalino o granular pH al 1%: 6-9	NA	N.A	N.A	N.A	
Cloruro de potasio	Sólido cristalino blanco granulado, soluble en agua pH al 1%: 5-9	NA	N.A	N.A	N.A	
Amoniaco	Líquido transparente con olor característico Densidad a 20°C: 0,9-0,92 g/ML Contenido 11%	-33 (puro)	651	N.A	H290, H314, H335 H400	
Ácido cítrico	Sólido traslucido o blanco, granular e inodoro.	175	N.A	N.A	H319	
Quelato de manganeso	Sólido blanco cristalino, inodoro Soluble en agua pH al 1%: 2-4	NA	>200	NA	NA	

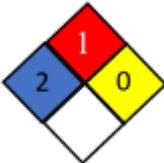
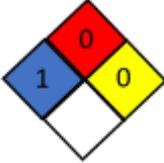
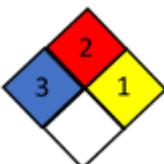
Quelato de zinc	Polvo blanco pH al 1%: 2-8	NA	NA	NA	NA	
Quelato de hierro	Polvo, color café claro Soluble en agua pH al 1%: 2-8	NA	331	NA	NA	
Sulfato de cobre	Cristales azules pH: 3,2-4,5	N.A	N.A	N.A	H302, H315, H319 H400,H410	
Sulfato de cobalto	Cristales rojos pH: 5,5-6,5	N.A	N.A	N.A	H302, H334, H350, H360 H410	
Cloruro de magnesio	Cristal incoloro o blanco	N.A	N.A	N.A	NA	
Quelato de calcio	Polvo fino color blanco pH al 1%: 2-8	NA	NA	NA	NA	
Molibdato de amonio	Cristales blancos a color verde amarillento. pH: 5-5,5	190	N.A	N.A	H302, H315, H319, H335	
Borato de sodio	Cristal blanco y suave pH: 9-9,5	1575	N.A	N.A	H360FD, H319	

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

8.2.3.2 Sustancias del proceso de plaguicidas

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de las sustancias químicas que intervienen en el proceso de producción de 1 Insecticida EC y 1 Fungicida SC

Tabla 30: Información sobre las sustancias utilizadas en el proceso de producción plaguicidas de la empresa More S.A.S

Nombre	Descripción	T.ebullición [°C]	T.autoignición [°C]	T.inflamación [°C]	Frase H	Rotulo NFPA
Aromático pesado	Solvente aromático derivado del petróleo, color amarillo y olor característico Densidad a 20°C: 0,86-0,9 g/mL	150-220	N.A	38	H226, H300(1), H315	
Nonilfenol 10moles	Líquido translúcido, ligeramente amarillento, viscoso con olor fenólico pH al 7%: 6-7,5	295	370	140	H302, H319, H412	
Clorpirifos	Cristales amarillentos granulados Contenido: 95-100%	160	N.A	N.A	H301, H400, H410	
Agua	Líquido transparente con pH neutro	92 a 2700 m sobre el nivel del mar	N.A	N.A	N.A	
Kapolgen AF 300	Líquido ligeramente blanco Densidad a 20°C: 1,01-1,03 g/mL pH al 1%: 6-8	NA	NA	NA	N.A	NA
Goma Xanthan	Polvo fino color crema Viscosidad: 1400cp Tamaño: Malla 200 pH al 1% sln: 6-8	98	>200	83	N.A	
Formaldehido	Líquido incoloro con olor característico Densidad a 20°C: 1,08-1,11g/mL pH: 3-5	96-98	430	>55	H226, H301, H311, H314, H318, H317, H331, H341, H350, H335, H370	

Nombre	Descripción	T.ebullición [°C]	T.autoignición [°C]	T.inflamación [°C]	Frase H	Rotulo NFPA
Mono etilenglicol	Líquido espeso, incoloro, inodoro pH 8,5 a 20°C y 50% V/V	197,6	398	111	H302, H373	
Kapolgen FLK	Líquido traslucido, ligeramente amarillo Densidad a 20: 1,08-1,12 pH al 1%: 6-8	NA	NA	NA	N.A	NA
Carbendazim	Polvo fino color blanco a grisáceo Contenido 93-100% Malla 325	N.A	N.A	N.A	H340, H360, H400, H410	

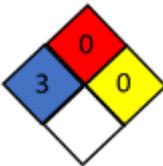
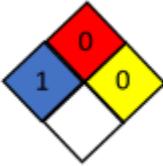
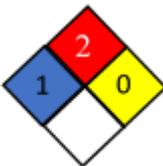
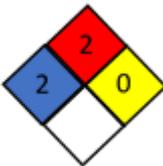
Fuente: More Química de Colombia S.A.S

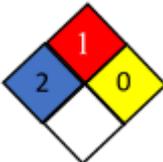
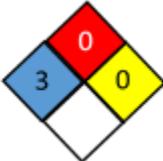
8.2.3.3 Sustancias del proceso de envase

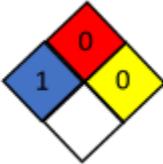
En la siguiente tabla se muestran las propiedades de las sustancias químicas que intervienen en el proceso de envase

Tabla 31: Información sobre las sustancias utilizadas en el proceso de envasado de la empresa More S.A.S

Nombre	Descripción	T.ebullición [°C]	T.autoignición [°C]	T.inflamación [°C]	Frase H	Rotulo NFPA
2,4 D + Picloram	Color ámbar con olor característico SL Densidad a 20°C: 1,06-1,10g/mL pH al 1%: 6-9,5 Contenido 2,4D: 135-165g/L Contenido Picloram: 12,9-17,1 g/L	Pvap: 32mmHg a 20°C	NA	>174	H302 H315 H319 H400	
Abamectina	Líquido ligeramente amarillo EC Densidad a 20°C: 0,93-0,96 g/mL pH al 1: 5-8 Contenido: 1,53-2,07%	NA	320	69	H302 H319 H400	
Carbendazim	Color blanco SC Densidad a 20°C: 1,15-1,17g/mL pH al 1%: 6-8	Pvap: 0,09mPa a 20°C	NA	NA	H340, H360, H400, H410	

Nombre	Descripción	T.ebullición [°C]	T.autoignición [°C]	T.inflamación [°C]	Frase H	Rotulo NFPA
	Contenido: 475-525g/L					
Clorotalonil	Color Blanco SC Densidad a 20°C: 1,3-1,35g/mL pH al 1%: 6-8 Contenido: 695-745g/L	>100	650	>100	H302 H332 H319 H317 H351 H335 H400 H410	
Clorpirifos	Aspecto amarillo Olor a mercaptanos EC Densidad a 20°C: 1,09-1,11g/mL pH al 1%: 3.5-7.5 Contenido: 456-504g/L	137	>450	71	H301 H302 H315 H317 H320 H332 H400 H410	
Difenoconazole	Líquido traslucido de color amarillo EC Densidad a 20°C: 0,9-1,02g/L pH al 1%: 5-8 Contenido: 235-265g/L	>220	460	75	H304 H315 H317 H318 H410	
Difenoconazole + Propiconazole	Líquido traslucido de color amarillo EC Densidad a 20°C: 1,08-1,11g/mL pH al 1%: 5-8 Contenido Difenoconazole: 237.5-262.5 g/L Contenido Propiconazole: 237.5-262.5 g/L	>170	NA	65	H225 H315	
Fert. Aminoácidos	Líquido en suspensión concentrada Densidad a 20°C: 1,12-1,16g/mL pH: 5-6 Contenido Nitrógeno total: mínimo 58,5g/L Potasio soluble: Mínimo 30,1g/L Aminoácidos libres:	NA	NA	NA	NA	NA

Nombre	Descripción	T.ebullición [°C]	T.autoignición [°C]	T.inflamación [°C]	Frase H	Rotulo NFPA
	Mínimo 193,3g/L Fosforo asimilable: Mínimo 27g/L					
Fert. N-P-K	Líquido verde translucido Densidad a 20°C: 1,35-1,37g/mL pH: 6,5-7,5 Contenido Nitrógeno total: Mínimo 92,57g/mL Fosforo asimilable: Mínimo 290,28g/L Potasio soluble: Mínimo 92,84g/L y menores.	NA	NA	NA	NA	NA
Fipronil	Color beige SC Densidad a 20°C: 1,05-1,15g/mL pH al 1%: 6-8 Contenido: 188-210g/L	NA	>100°C	NA	H301 H311 H331 H372 H410	
Imidacloprid	Líquido de color blanco viscoso SC Densidad a 20°C: 1,13-1,16g/mL pH al 1%: 6-8,5 Contenido: 332-367g/L	NA	>400	>100	H302 H332 H410	
Lambda Cyhalotrina + Thiamethoxam	Color blanco SC Densidad a 20°C: 1,08-1,10g/mL pH al 1%: 4-7 Contenido de Lambda Cyhalotrina: 99,64-112,36g/L Contenido Thiamethoxam: 132,54-149,46 g/L	NA	>650	>102	H313 H332 H302 H317 H400 H410	
Paraquat	Líquido verde oscuro SL Densidad a 20°C: 1,07-1,09g/mL pH: 3-6	>100°C	>300°C	NA	H301 H330 H311 H315 H319 H335	

Nombre	Descripción	T.ebullición [°C]	T.autoignición [°C]	T.inflamación [°C]	Frase H	Rotulo NFPA
	Contenido: 188-212 g/L				H372 H400 H410	
Profenofos	Líquido translucido de color amarillo EC Densidad a 20°C: 1,13-1,16g/mL pH al 1%:3-7 Contenido: 475-525g/L	>170	470	>48	H226 H315 H318 H400 H410	
Propamocarb	Líquido viscoso ligeramente amarillo SL Densidad a 20°C: 1.08-1,11g/mL pH al 1%: 5-8 Contenido:675-725g/L	150	>400	NA	H302 H303	
Quinclorac	Color ligeramente amarillo SC Densidad a 20°C: 1,14-1,18 g/mL pH al 1%: 3-7 Contenido: 237.5-262.5g/L	274	NA	NA	H301 H315 H319 H400	

Fuente: More Química de Colombia S.A.S

9. Resultados

9.1. Método Electre: Técnica de identificación de riesgos

Las valoraciones cualitativas de las características de las técnicas de identificación de riesgo dadas en la Tabla 2 deben ser transformadas a cuantitativas (arbitrariamente) para poder ser procesado por el método Electre. La Tabla 32 muestra esa conversión.

Tabla 32: Matriz de distribución de pesos inicial.

Criterio/Alternativa	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Peso	Delta
C1	2	7	7	9	4	7	4	7
C2	6	5	5	7	5	6	3	2
C3	2	6	8	8	3	6	6	6
C4	7	5	7	6	4	4	8	3
C5	7	7	6	7	3	3	7	4
C6	6	6	6	7	6	4	9	3

En donde C se refieren a los criterios o características utilizadas (ver Tabla 1) y A se refiere a las alternativas (técnicas de identificación de riesgos) (ver Tabla 2).

Las Tablas 33, 34 muestran respectivamente los resultados de la matriz de concordancia y discordancia. La primera matriz de estas se obtiene sumando el peso al comparar si la alternativa en la fila es superior a la de la columna y dividiéndolo en la suma de los pesos. La segunda matriz se obtiene para una columna fija calculando el máximo de la diferencia de la columna con cada fila y dividiéndolo en el delta horizontal respectivo. Posteriormente se computa el promedio de los valores de cada matriz y se resaltan aquellas celdas cuyos valores son mayores o menores para la matriz de concordancia y discordancia, respectivamente y se obtiene de estos un vector dominante horizontal y vertical. El resumen de estos resultados se muestra en la Tabla 35, en donde se observa que, como primera opción, se podría seleccionar la técnica HAZOP; en segundo lugar, el método What if, podría utilizarse; y en tercera opción están los índices de riesgo.

Tabla 33: Resultados de la matriz de concordancia.

Alternativa	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1		0,730	0,730	0,405	0,730	0,730
A2	0,703		0,622	0,189	1,000	0,919
A3	0,730	0,811		0,378	1,000	0,919
A4	0,784	1,000	0,784		1,000	1,000
A5	0,514	0,324	0,324	0,000		0,649
A6	0,351	0,351	0,189	0,000	0,757	
UmbralP	0,620720721					

Tabla 34: Resultados de la matriz de discordancia.

Alternativa	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1		0,714	1,000	1,000	0,286	0,714
A2	0,667		0,667	1,000	0,000	0,500
A3	0,500	0,250		1,000	0,000	0,500
A4	0,333	0,000	0,333		-0,333	-0,286
A5	1,000	1,000	1,000	1,000		0,500
A6	1,000	1,000	1,000	1,000	0,667	
Umbral P	0,600397					

Tabla 35: Resultados de la técnica de identificación de riesgos seleccionada.

Alternativa	Dominante		Diferencia	Prioridad	Método
	Horizontal	Vertical			
1	5	3,4	-1	4	Lista chequeo
2	5,6	3,4	0	3	Indice riesgos
3	1,2,5,6	4	3	2	What if
4	1,2,3,5,6	0	5	1	HAZOP
5	6	1,2,3,4	-3	5	FMEA
6	0	2,3,4,5	-4	6	Arbol de riesgo

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 35, como primera opción se selecciona el método HAZOP y de última opción el método Árbol de riesgo.

9.2. Nodos HAZOP

Los nodos se seleccionaron de tal manera que involucrara todas las etapas del proceso productivo, así como sus partes más críticas y relevantes. La Tabla 36 muestra los nodos seleccionados, con las respectivas palabras claves a utilizar. A continuación, se realiza un análisis de las posibles causas y consecuencias de hipotéticas desviaciones que afectan a cada una de las variables sobre un nodo respectivo. Finalmente, se muestran medidas correctivas a tales desviaciones.

Tabla 36: Nodos seleccionados, variables y palabras claves a analizar

Proceso	Número	Descripción	Variables	Palabras claves utilizadas
Fertilizante A base de aminoácidos	1	Mezclado en V-102	<ul style="list-style-type: none"> •Agitación •Orden de adición •Tiempo •Flujo materias primas •Concentración 	No Reverso Menos
Fertilizante A base de aminoácidos	2	Descarga producto V-102	Flujo producto	Menos
Fertilizante Tipo NPK	3	Mezclado en V-101	Orden de adición	Reverso
Fertilizante Tipo NPK	4	Servicio agua de enfriamiento	Flujo agua enfriamiento	Menos

Fertilizante Tipo NPK	5	Flujo a través del filtro	Flujo salida	No
Insecticida EC	6	Calentamiento en V-202	Temperatura	Menos Más
Fungicida SC	7	Transporte del producto a TK-201	Potencia bomba	Menos
Envasado	8	Mezclado en V-301	•Temperatura •Flujo producto •Nivel de líquido	Más Menos

9.2.1 Nodo 1: Mezclado en V-102

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo. El nodo lo conforma el tanque V-102, las bombas de descarga P-103 hacia el tanque de almacenamiento V-103, válvulas de paso y las líneas de suministro de corriente y aire (neumático).

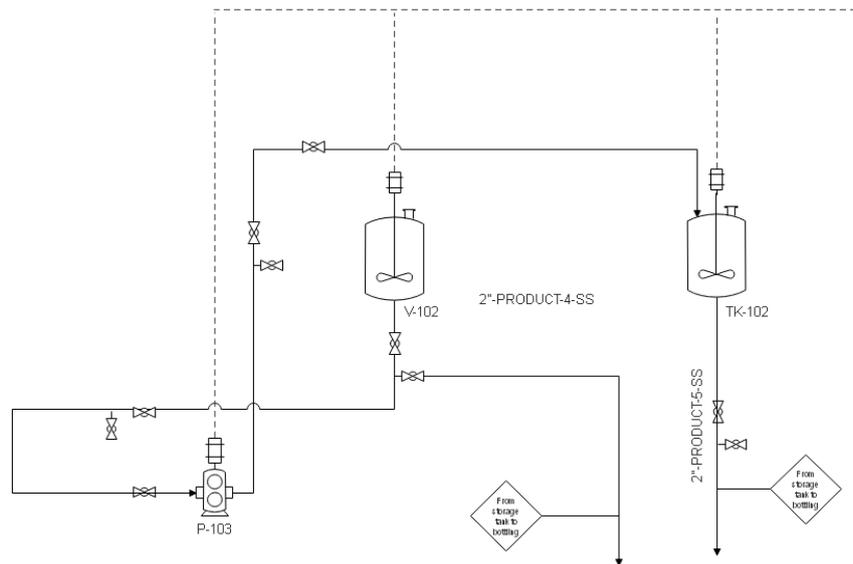


Figura 19: Diagrama correspondiente al Nodo 1

Proceso:	Fertilizante: A base de aminoácidos
Variable:	Agitación
Palabra guía:	No
Desviación:	Agitación nula en V-102

Causas posibles:

- Desconexión de línea de electricidad: Apagado manual por operario o falla en el servicio.
- La mezcla del interior del tanque alcanzó una viscosidad demasiado alta por la adición excesiva de materias primas, el no seguimiento de la fórmula, o el estado de calidad de las materias primas.
- El interruptor ON/OFF que se encuentra dispuesto en campo falla en transmitir la señal de encendido a las aspas de agitación. Puede deberse o bien a que efectivamente su estado era OFF al momento de empezar la operación (descuido del operario) o bien por algún corto-circuito que

pudo haberse presentado (por ejemplo, una fluctuación de corriente excesiva en algún horario del día).

Consecuencias posibles

- No se logra una homogenización correcta de las materias primas, y por tanto no se cumple con las características del producto.
- La goma se encapsula y/o no funciona el tensoactivo de la manera esperada.
- No se disuelven completamente los componentes de la C a la E.
- El componente E permite un crecimiento inesperado del nivel de la mezcla en el tanque hasta causar su posible rebose.

Medidas correctivas

- Asegurarse de que las líneas de electricidad estén conectadas apropiadamente antes y después del cargado de los materiales.
- Si las líneas de electricidad están en zonas de tránsito de personal, realizar una reubicación a un lugar aislado.
- Chequear periódicamente la viscosidad de la mezcla en el tanque y certificar de que no sobrepase el límite permitido que impida que las aspas de agitación se detengan.
- Instalar un control automático que registre el funcionamiento correcto de las aspas de agitación. Si llegase a fallar en algún momento por el incremento en el nivel del tanque, este manda una señal a un controlador para que, mediante el activado de una bomba de alimentación, se cargue el componente F que regularía el desbordamiento del líquido
- Instalar un control automático que registre el funcionamiento correcto de las aspas de agitación. Si llegase a fallar en algún momento por el incremento en el nivel del tanque, este manda una señal a un controlador para que, mediante la manipulación de una válvula de paso, disminuya el flujo proveniente del tanque de mezclado.
- Adicionar el componente F antes del E. F es un antiespumante que permitiría regular el crecimiento desbordado de E y por tanto evitar el rebose del líquido en el tanque.

Proceso:	Fertilizante: A base de aminoácidos
Variable:	Orden de adición
Palabra clave:	Reverso
Desviación:	Adición incorrecta de materias primas en V-102

Causas posibles:

- Instrucciones no claras y concisas sobre el orden de adición de las materias primas.
- No disponibilidad de todas las materias primas al momento de su adición
- Cargado de materias primas erróneo para propósitos de producir un producto que se procesa en el mismo equipo

Consecuencias posibles

- Si la sustancia F se adiciona primero, y la sustancia B después, puede ocurrir una alteración no prevista sobre el proceso. Por ejemplo, si la sustancia B no se humecta, se forman grumos y no se disuelven correctamente los demás componentes.

Medidas correctivas

- Hacer un plan de producción semanal o diario con anticipación, con verificación de los equipos, materias primas, etc. antes de poner en operación la instalación. De esta manera se asegura que todas las sustancias están disponibles para agregarse en el momento en que se requieran.

- Considerar la adquisición de un mecanismo de carga automático y secuenciado de materias primas. De esta forma se debe asegurar en mantener cargado siempre tal mecanismo con las sustancias requeridas y no el orden en que estas deben adicionarse.

Proceso:	Fertilizante: A base de aminoácidos
Variable:	Tiempo
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Tiempo de mezclado menor en V-102

Causas posibles:

- Estimación del tiempo de mezclado incorrecto
- Adición temprana, acelerada y no controlada de las materias primas.

Consecuencias posibles

- No se logra el mezclado suficiente entre los componentes adicionados, por lo tanto, el producto final no cumplirá con los requisitos y características de diseño
- La sustancia B forma grumos, los componentes del C al E no se disuelven y finalmente la sustancia F no se mezcla

Medidas correctivas:

- Conformar un grupo que verifique los cálculos para el plan de producción propuesto (ya sea diario o semanal)
- Implementar un sistema de control que a) apague automáticamente las aspas de agitación o b) encienda una alarma cuando se iguale el tiempo de mezclado real del equipo con el valor de referencia (set point).

Proceso:	Fertilizante: A base de aminoácidos
Variable:	Flujo materias primas
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Menor flujo materias primas a V-102

Causas posibles:

- Cargado insuficiente de materias primas
- Derrame de líquido en el tanque

Consecuencias posibles

- Producción fijada no se cumple

Medidas correctivas:

- Verificación del plan de producción propuesto.
- Verificación rutinaria del estado de los equipos antes de empezar la producción
- Implementación de un sistema de cargado automático de materias primas con disponibilidad permanente.
- Disponer, en caso tal que ocurra, una línea de emergencia que recolecte el producto que rebosa del tanque

Proceso:	Fertilizante: A base de aminoácidos
Variable:	Concentración
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Menor concentración del producto V-102

Causas posibles:

- Evaporación de los componentes en el tanque
- Solución diluida por exceso en la adición de agua.

Consecuencias posibles

- Especificaciones y requerimientos del producto no se cumplen

Medidas correctivas:

- Toma de muestras manual cada cierto tiempo para verificar la concentración de los componentes claves.

9.2.2 Nodo 2: Descarga de producto V-102

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo. El nodo lo conforma el tanque V-102, la bomba de descarga P-103 hacia el tanque de almacenamiento V-103, válvulas de paso y las líneas de suministro de corriente y aire (neumático).

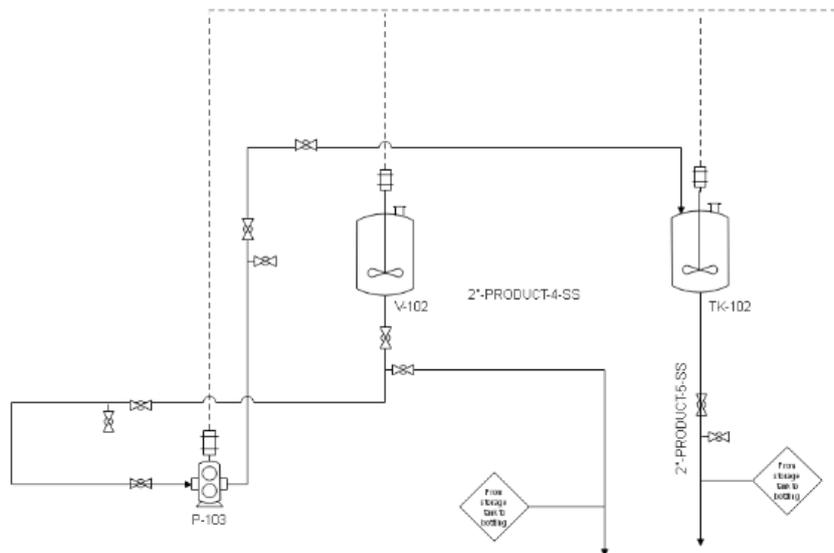


Figura 20: Diagrama correspondiente al Nodo 2

Proceso:	Fertilizante: A base de aminoácidos
Variable:	Flujo producto
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Menor flujo de producto

Causas posibles:

- Obstrucción en las tuberías de descarga por acumulación de producto de lotes anteriores.
- Falla de la bomba por desgaste o falla externa. (por ejemplo, obstrucción de sus engranajes)

Consecuencias posibles

- Inversión innecesaria de electricidad en términos de agitación sobre una mezcla completamente homogenizada

Consecuencias sobre el proceso

- No se logra el cumplimiento del proceso de producción fijado
- Menor cantidad de producto almacenado en el tanque de almacenamiento
- Estancamiento del proceso. Esto demandaría la evacuación manual del producto por parte de un operario, lo que implica tiempo y costos adicionales.

Medidas correctivas

- Agendar periodos de limpieza de equipos. Esto se debe realizar siempre procurando que coincida con momentos en los que se espere que la producción en el equipo sea baja a causa de una temporada que no demande tanto su utilización. De igual forma, sería recomendable implementar con una periodicidad prudente mantenimientos preventivos que reduzcan la probabilidad de averías o mal funcionamiento de los equipos.

9.2.3 Nodo 3: Mezclado en V-101

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo. El nodo lo conforma el tanque V-101, la bomba de suministro P-101, P-102, el tanque a vacío TK-101, el filtro, válvulas de paso, indicadores de presión y las líneas de suministro de corriente y aire (neumático).

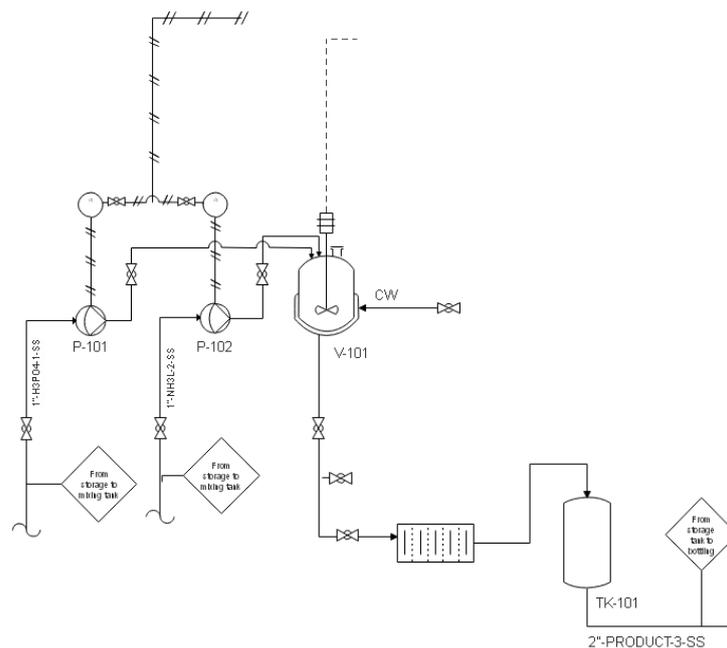


Figura 21: Diagrama correspondiente al Nodo 3

Proceso:	Fertilizante: Tipo NPK
Variable:	Orden de adición
Palabra clave:	Reverso
Desviación:	Adición incorrecta de materias primas en V-101

Causas posibles:

- Instrucciones no claras y concisas sobre el orden de adición
- No disponibilidad de todas las materias primas al momento de su adición
- Cargado nulo de materias primas al tanque de agitación
- Cargado de materias primas erróneo para propósitos de producir un producto que se procesa en el mismo equipo

Consecuencias posibles (sobre el nodo, sobre otro nodo, sobre el resto del proceso)

- Revertir el orden en que se agrega agua y el componente B puede ser potencialmente peligroso. Primero se adiciona agua y luego B de modo que la energía de disociación de B pueda disiparse lentamente. Si se adiciona agua sobre B, el calor de reacción generado puede ser tal que podría provocar una explosión en el equipo.
- Adicionar D, E, F sobre la mezcla antes que C podría disminuir la temperatura de la reacción temporalmente, pero esta seguiría aumentando si C no se adiciona en el momento adecuado ya que es este último el causante de la neutralización de la misma. Es decir, la no neutralización de la reacción provocaría el incremento intermitente de la temperatura en el tanque.
- Revertir, cambiar o alterar cualquier secuencia en la manera en que se adicionan las sustancias conlleva a la obtención de un producto que no cumple con las características de diseño.
- La insuficiencia del componente G causa un incremento en la concentración de la mezcla en el tanque de agitación. Esto puede conllevar a un incremento de su viscosidad y posteriormente a un mal funcionamiento del proceso de mezclado en el tanque (su detención).

Medidas correctivas

- Hacer un plan de producción semanal o diario con anticipación, con verificación de los equipos, materias primas, etc. antes de poner en operación la instalación. De esta manera se asegura que todas las sustancias están disponibles para agregarse en el momento en que se requieran.
- Implementar un sistema de carga que monitoree el cargado y adiciónamiento de la sustancia B; una vez culminado este acciona, por medio de una alarma o indicador, el cargado automático de la sustancia C de manera abrupta o rápida.
- Implementar un sistema de control que registre el funcionamiento de las aspas de agitación del tanque y manipule la entrada de la sustancia G, la cual permite la dilución de la mezcla.
- Medir la presión en las tuberías de suministro de materias primas, lo cual se puede lograr con los medidores de presión actuales dispuestos en campo. Esta señal se dirige a controladores, los cuales manipulan las aperturas de las válvulas de suministro, abriéndolas o cerrándolas. Esta apertura se realiza pues la presión que se registra es una medida del flujo que pasa a través de las tuberías.

9.2.4 Nodo 4: Servicio-Agua de enfriamiento

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo. El nodo lo conforma el tanque V-101, las bombas de suministro P-101, P-102, el tanque a vacío TK-101, el filtro, válvulas de paso, indicadores de presión y las líneas de suministro de corriente y aire (neumático).

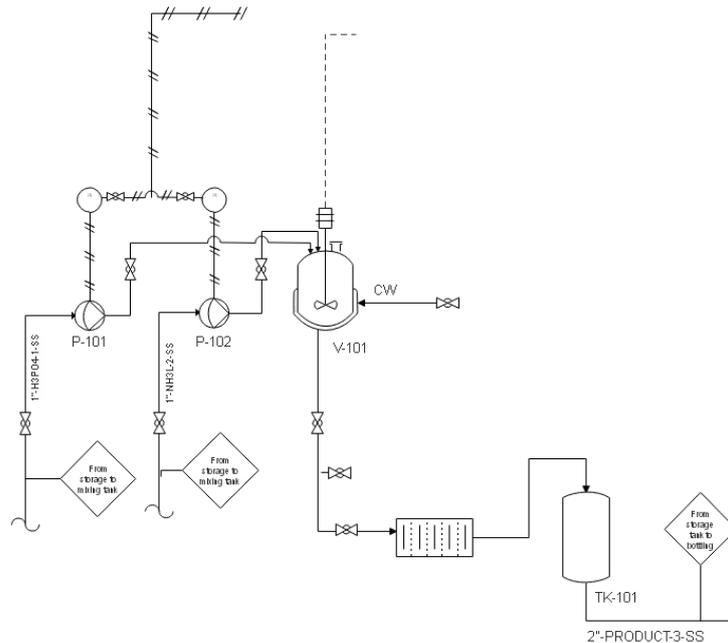


Figura 22: Diagrama correspondiente al Nodo 4

Proceso:	Fertilizante Tipo NPK
Variable:	Flujo agua enfriamiento
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Agua de enfriamiento insuficiente

Causas posibles

- Las válvulas que permiten el flujo del agua de enfriamiento a lo largo de la chaqueta se encontraban cerradas o abiertas de manera incompleta.
- La proporción de flujo de agua en un momento dado fue insuficiente para la cantidad de material a procesar.
- La bomba no proporciona la suficiente energía mecánica para transportar el agua desde la fuente a la chaqueta. O pudo ocurrir una falla eléctrica en la misma.
- El tanque de acopio de agua no tenía suficiente nivel para satisfacer las necesidades energéticas de intercambio de calor en el tanque.

Consecuencias posibles

- Elevación de la temperatura, lo cual causaría la evaporación de las sustancias que ingresan al equipo, causando una variación en las propiedades del producto, que lo alejan de las características deseadas para este.
- Desgaste de las paredes del equipo sino se controla oportunamente.

Medidas correctivas:

- Implementar un lazo de control que registre constantemente la temperatura de la chaqueta. Esta información se envía a un controlador, el cual lo compara con el valor de referencia (set-point). De acuerdo con lo anterior, el controlador envía una señal a las válvulas de control que regulan el flujo de agua enfriamiento dirigido al equipo, ya sea para abrirlas o cerrarlas.
- Disponer de señalización a lo largo de toda la planta que indique el estado actual de las válvulas manuales (abierta-cerrada)

- Considerar el reemplazo o un mantenimiento periódico de la bomba de suministro de agua. Igualmente es aconsejable evaluar un incremento en la potencia de la bomba si es que la caída de presión que hay entre la fuente y el destino (chaqueta) lo demanda.

9.2.5 Nodo 5: Flujo a través del filtro

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo. El nodo lo conforma el tanque V-101, las bombas de suministro P-101, P-102, el tanque a vacío TK-101, el filtro, válvulas de paso, indicadores de presión y las líneas de suministro de corriente y aire (neumático).

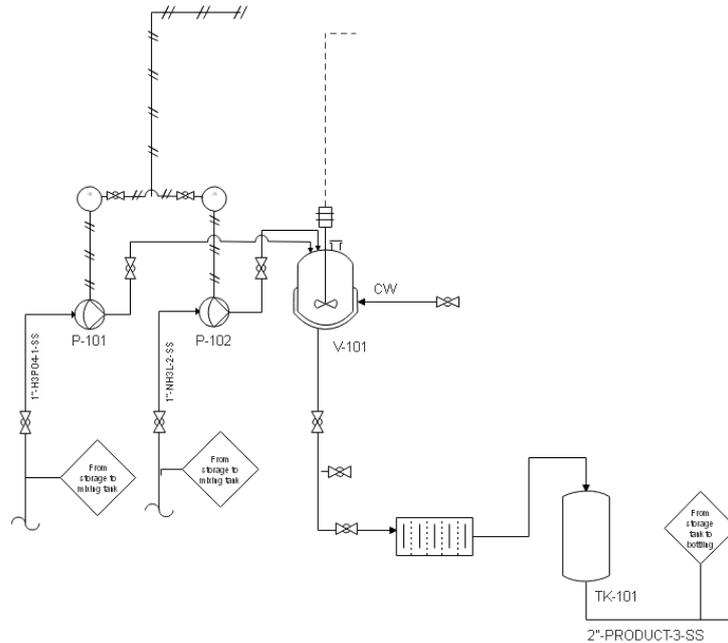


Figura 23: Diagrama correspondiente al Nodo 5

Proceso:	Fertilizante Tipo NPK
Variable:	Flujo
Palabra clave:	No
Desviación:	Flujo inferior a la salida del filtro

Causas posibles

- Taponamiento de las tuberías
- Saturación del medio filtrante

Consecuencias posibles

- Derrame del producto por el aumento de nivel en el equipo
- Taponamiento del proceso
- Flujo nulo hacia la línea de envase

Medidas correctivas

- Implementar un sistema de control que registre el flujo que sale del filtro y manipule la válvula de suministro al mismo y/o encienda una alarma. De esta manera se puede informar a los operarios de que es necesario un mantenimiento correctivo sobre el equipo.

9.2.6 Nodo 6: Calentamiento en V-202

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo. El nodo lo conforma el tanque V-202, la bomba de suministro P-202, válvulas de paso y las líneas de suministro de corriente y aire (neumático).

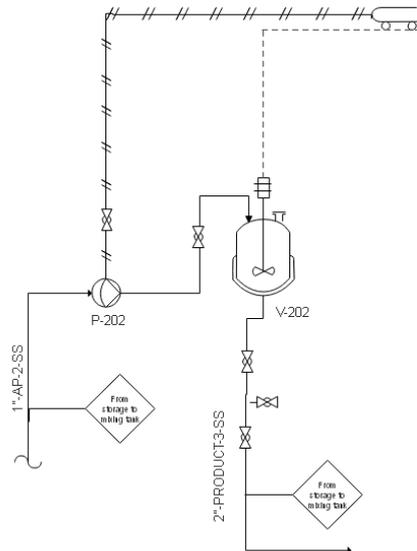


Figura 24: Diagrama correspondiente al Nodo 6

Proceso:	Insecticida EC
Variable:	Temperatura
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Menor temperatura del vapor

Causas posibles

- El vapor de agua no está siendo generado a las condiciones que se esperan (vapor de baja presión a 150 psi). Esto puede deberse a que las tuberías no se precalentaron antes de iniciar el proceso en el tanque. De esta forma, la temperatura del vapor fue decreciendo a lo largo de la misma.
- Existe una fuga de vapor a lo largo de las tuberías.
- El combustible (ACPM) que entra a la caldera no se quema por completo, generando un vapor con una calidad insuficiente para el proceso.

Consecuencias posibles

- La temperatura recomendada a la que debe proceder el proceso de mezclado no se alcanza. Esto implica que la solubilidad del componente activo en la mezcla disminuye, perjudicando las características del producto obtenido.
- Se puede obtener un producto saturado en el componente A, debido a un exceso de adición. Esto puede pasar, ya que es una práctica en la empresa asumir que parte de este se evapora en el transcurso del proceso de mezclado. Sin embargo, al ser la temperatura inferior, es razonable esperar que A no se evapora.

Medidas correctivas:

- Establecer otra línea de suministro de vapor con las condiciones de flujo y temperatura adecuada que compensen las fallas en la caldera inicial y aseguren la temperatura óptima de mezclado en el tanque.

- Ubicar medidores de presión en las tuberías que suministran el vapor. De esta manera un controlador registra la presión y, si esta desciende a causa de fugas, encender una alarma.
- Disminuir, si es posible, la cantidad de masa por lote y aumentar el número de lotes. Esto permite que se procese la misma cantidad de producto, pero con demandas energéticas por lote mucho menores, para lo cual el vapor disponible puede ser suficiente.
- Implementar un lazo de control que indique si la temperatura del tanque desciende demasiado. El controlador envía una señal indicadora, encendiendo una alarma. De esta manera el operario es informado de que es necesario encender la otra caldera para asegurar la temperatura en el tanque.
- Realizar ensayos de propiedades fisicoquímicas al combustible para asegurarse de que tenga la potencia calorífica y demás propiedades (temperatura de llama, relación aire-combustible, nivel de aislamiento térmico, etc.) requeridas en el proceso de generación de vapor.
- Cada vez de que se vaya a poner en marcha los equipos de la instalación, realizar un procedimiento de preparación que incluya, entre otros, el precalentamiento de las tuberías de paso de vapor, la verificación de las posiciones de inicio de los interruptores de las válvulas y bombas, el encendido del cuarto de control (si existiese), etc.

Proceso:	Insecticida EC
Variable:	Temperatura
Palabra clave:	Más
Desviación:	Mayor temperatura en V-202

Causas posibles

- La presencia de impurezas u otros materiales en las sustancias cargadas en el tanque con propiedades desconocidas podrían causar que la temperatura se incremente más allá de lo esperado.
- Flujo de vapor excesivo proveniente de la caldera.
- Condición del vapor en un estado diferente al de diseño (por ejemplo, vapor de alta en vez de baja)

Consecuencias posibles

- Sobrepasar el límite de temperatura de 50°C causaría una posible desactivación del ingrediente activo (verificar las propiedades termodinámicas del mismo) perjudicando por completo el proceso de producción.
- Es necesario que los materiales se encuentren o bien en estado líquido o sólido. Si la temperatura se incrementa demasiado ocasionaría la evaporación de los mismos o bien, implicaría una reposición insuficiente de los materiales que se esperan evaporen. Cualquiera de las consecuencias anteriores llevaría a un incumplimiento de producción fijada.
- En el límite de 50°C ya se habría superado la temperatura de inflamación de una materia prima compuesta de hidrocarburos, de manera que se estaría en una situación de potencial explosión e incendio.
- Desgaste de las paredes del equipo sino se controla oportunamente.

Medidas correctivas:

- Implementar un lazo de control que disminuya el flujo de vapor si la temperatura se incrementa considerablemente más allá del valor de referencia fijado en el tanque.
- Si la temperatura se incrementa más allá de la temperatura de diseño, es deseable disminuir el flujo de la sustancia A (un hidrocarburo) para evitar la evaporación del mismo. Esto se logra

con un control de temperatura que manipule el flujo en base a la temperatura que se registra constantemente en el tanque.

- Pasar las materias primas por un sistema de pretratamiento que incluya filtración y caracterización. Este último procedimiento permitiría verificar, por ejemplo, que el componente A es efectivamente tal, si las propiedades termodinámicas, físicas y de transporte evaluadas concuerdan con datos de referencia en literatura.
- El agua de enfriamiento que se usa en el tanque se devuelve a la fuente y vuelve a recircularse. Si se ejecutan varios lotes por días en el tanque, es necesario evaluar el incremento de temperatura que sufre el agua de enfriamiento por lote. Con esta información se puede decidir si se disminuye el número de lotes planteados o se hace un make-up de agua fresca para evitar un incremento muy elevado de la misma.

9.2.7 Nodo 7: Transporte del producto a TK-201

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo. El nodo lo conforma el tanque V-201, TK-201, la bomba de descarga P-201, válvulas de paso y las líneas de suministro de corriente.

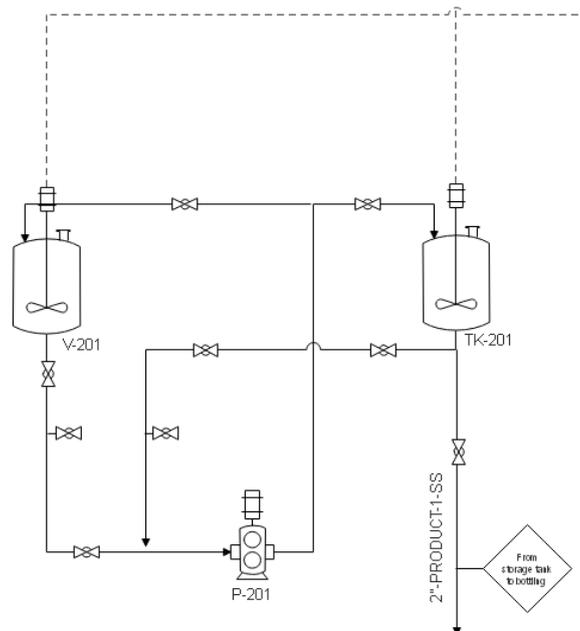


Figura 25: Diagrama correspondiente al Nodo 7

Proceso:	Fungicida SC
Variable:	Potencia bomba
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Menor potencia de la bomba

Causas posibles

- Falla en el suministro de electricidad
- Potencia de la bomba insuficiente para la carga actual en V-201
- Obstrucción en las tuberías de transporte
- El nivel en el tanque de agitación es muy bajo que imposibilita el transporte de la mezcla al tanque de almacenamiento

Consecuencias posibles

- La mezcla en el tanque V-201 no se transporta satisfactoriamente a TK-201 deteniendo el proceso y causando un embotellamiento.
- El ingrediente activo no se solubiliza por completo en la mezcla ya que es el transporte de V-201 a V-202 lo que posibilita esto.
- Una obstrucción en la tubería de descarga provoca el estancamiento del fluido, así como el incremento de la temperatura. Esto puede resultar en desencadenar un proceso de cavitación, causando daños a los componentes internos de la bomba.

Medidas correctivas:

- Considerar el reemplazo de P-201 por una bomba debido al desgaste del equipo
- Considerar adquirir un motor con mayor potencia de bombeo para V-201 que satisfaga los requerimientos de mezclado, de modo que la dependencia sobre la bomba sea mínima y no sea de obligatoriedad el transporte de la mezcla al siguiente tanque.
- Aumentar el número de veces y la rigurosidad con la que se realiza mantenimiento en los equipos
- Implementar un lazo de control que registre el nivel en el tanque de almacenamiento y manipule el encendido de la bomba de suministro. Esta acción impediría, por ejemplo, el funcionamiento de la bomba cuando no existiese mezcla para transportar, evitando así el daño de los componentes interiores de la misma.

9.2.8 Nodo 8: Mezclado en V-301

La siguiente figura muestra la sección correspondiente al actual nodo, el cual consiste en el tanque granel y de agitación.

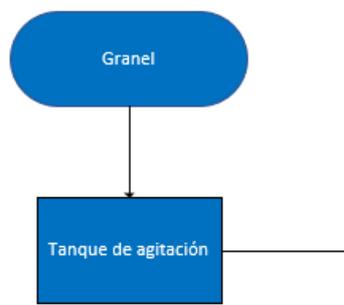


Figura 26: Diagrama correspondiente al Nodo 8

Proceso:	Envasado
Variable:	Temperatura
Palabra clave:	Más
Desviación:	Mayor temperatura en tanque de agitación

Causas posibles

- Aguas arriba se presentó una evaporación excesiva de sustancias poco volátiles, por lo que la temperatura debió haberse incrementado considerablemente. Esto causa que, al llegar al granel, la temperatura no sea la adecuada para el proceso de agitación posterior.

- Agitación insuficiente que causa la no homogenización de la temperatura en el interior del agitador.

Consecuencias posibles

- La vaporización de sustancias en el último proceso antes de obtener el producto final (envasado) no permite garantizar la composición de venta del mismo.
- La efectividad del producto en el momento de su utilización por parte cliente, ya sea fertilizante o plaguicida, se verá disminuida porque las sustancias no se encontraban en las proporciones correctas debido al mezclado incompleto. Esto se debe a que, si bien el producto puede contener la cantidad requerida de una sustancia, si esta no se encuentra mezclada con las otras, su efecto sobre el área irrigada no será el mismo.

Medidas correctivas:

- Disponer de un sistema de enfriamiento con agua de servicio que descienda la temperatura de la corriente proveniente del granel a la adecuada para el proceso de agitación.
- Implementar un sistema de control que ajuste el flujo de agua de servicio de la medida correctora anterior, cuando este registre la temperatura del tanque de agitación.
- Situar medidores de temperatura en cada etapa del proceso que conduzca hasta el tanque de granel para así tener un conocimiento de cómo varía esta y estimar el valor que tendrá al momento de llegar al tanque de agitación.

Proceso:	Envasado
Variable:	Flujo producto
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Menor flujo en tanque de agitación

Causas posibles

- Nivel bajo de líquido en el tanque de agitación
- Abastecimiento nulo desde el tanque a granel
- Válvula de suministro cerrada

Consecuencias posibles

- No se abastece la línea de envase

Medidas correctivas:

- Implementar un sistema de control que registre el flujo de salida del tanque de agitación y manipule la válvula de salida.

Proceso:	Envasado
Variable:	Nivel de líquido
Palabra clave:	Menos
Desviación:	Flujo bajo en el tanque de agitación

Causas posibles

- La bomba se encuentra apagada
- No hay suministro de producto (proveniente de los procesos de producción de fertilizantes y plaguicidas) al tanque de agitación

Consecuencias posibles

- No se abastece la línea de envase
- Embotellamiento general del proceso

Medidas correctivas:

- Implementar un sistema de control que registre el nivel del tanque de agitación y encienda o apague la bomba de suministro.

9.3. Tablas HAZOP

A continuación, se muestra la síntesis de los resultados obtenidos con la técnica HAZOP aplicada los procesos de producción y envase de la empresa More S.A.S. La explicación detallada de cada una de las causas, consecuencias y medidas correctivas, se encuentran en la Sección 5.1.

Una medida correctora, no obtenida mediante HAZOP, y que es de aplicación a todos los procesos en la empresa More S.A.S, consiste en instalar medidores de PH y de densidad en cada una de las corrientes de producto.

9.3.1 Nodo 1: Mezclado en V-102

NODO 1: MEZCLADO EN V-102					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Agitación	No	Agitación nula en V-102	<ul style="list-style-type: none">•Desconexión de la línea de electricidad por operario o falla en el servicio•Viscosidad alta por adición excesiva de materias primas•Fallo en la transmisión de la señal de encendido por el interruptor ON/OFF	<ul style="list-style-type: none">•Homogenización incorrecta de materias primas•Encapsulado de la goma•Disolución incompleta de los componentes•Rebose del líquido en el tanque	<ul style="list-style-type: none">•Verificación de la conexión de las líneas de electricidad•Reubicación de las líneas de electricidad•Verificar periódicamente viscosidad de la mezcla•Implementar control automático que mida el funcionamiento de las aspas de agitación y manipula la bomba de alimentación.•Implementar control automático que mida el funcionamiento de las aspas de agitación y

					manipula las válvulas de paso. •Adicionar componente F antes del E
Orden de adición	Reverso	Adición incorrecta de materias primas en V-102	<ul style="list-style-type: none"> •Instrucciones no claras sobre el orden de adición •No disponibilidad inmediata de materias primas •Materias cargadas para producir otro producto 	•Alteración no prevista sobre el proceso (por ejemplo, no disolución de los componentes).	<ul style="list-style-type: none"> •Hacer plan de producción semanal o diario y verificación de los equipos. •Adquirir un mecanismo de cargado automático y secuenciado de materias primas.
Tiempo	Menos	Tiempo de mezclado menor en V-102	<ul style="list-style-type: none"> •Estimación incorrecto del tiempo de mezclado. •Adición temprana, acelerada y no controlada de las materias primas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Mezclado insuficiente entre los componentes •La sustancia F no se mezcla 	<ul style="list-style-type: none"> •Verificación de los cálculos del plan producción propuesto •Implementar sistema de control que mida funcionamiento de las aspas de agitación y manipule el encendido de una alarma.
Flujo materias primas	Menos	Menor flujo de materias primas a V-102	<ul style="list-style-type: none"> •Cargado insuficiente de materias primas •Derrame de líquido en el tanque •Fuga en el tanque 	•Producción fijada no se cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Verificar plan de producción propuesto •Verificar estado de los equipos •Implementar sistema de cargado de materias primas •Instalar línea que recolecte el producto que de lo contrario se rebosaría
Concentración	Menos	Menor concentración del producto V-102	<ul style="list-style-type: none"> •Evaporación de los componentes en el tanque •Solución diluida 	•Especificaciones y requerimientos del producto no se cumplen	•Toma de muestras manual cada cierto tiempo para verificar la

					concentración de los componentes.
--	--	--	--	--	-----------------------------------

9.3.2 *Nodo 2: Descarga de producto V-102*

NODO 2: DESCARGA DE PRODUCTO V-102					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Flujo producto	Menos	Menor flujo producto	<ul style="list-style-type: none"> •Obstrucción en las tuberías •Fallo de la bomba 	<ul style="list-style-type: none"> •Gasto innecesario de electricidad •Producción fijada no se logra •Cantidad inferior de producto almacenado •Estancamiento del proceso; evacuación manual del producto. 	<ul style="list-style-type: none"> •Agendar periodos de limpieza de equipos. Mantenimiento preventivo de equipos.

9.3.3 *Nodo 3: Mezclado en V-101*

NODO 3: MEZCLADO EN V-101					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Orden de reacción	Reverso	Adición incorrecta de materias primas en V-101	<ul style="list-style-type: none"> •Instrucciones no claras sobre el orden de adición •No disponibilidad inmediata de materias primas •Cargado nulo de materias primas al tanque de agitación •Materias cargadas para producir otro producto 	<ul style="list-style-type: none"> •Potencial situación de explosión en el equipo •Incremento intermitente de la temperatura en el tanque •Obtención de un producto que no cumple las características de diseño •Incremento en la concentración de la mezcla con un posterior incremento en su viscosidad 	<ul style="list-style-type: none"> •Hacer plan de producción semanal o diario y verificación de los equipos. •Adquirir un mecanismo de cargado automático y secuenciado de materias primas. •Implementar un sistema de control que mida el funcionamiento de las aspas de agitación y manipule la

					<p>entrada del componente G</p> <ul style="list-style-type: none"> •Con el registro de la presión con los medidores de presión actuales, dirigir las señales a controladores que manipulen las válvulas de suministro al tanque de agitación
--	--	--	--	--	---

9.3.4 Nodo 4: Servicio: Agua de enfriamiento

NODO 4: SERVICIO: AGUA DE ENFRIAMIENTO					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Flujo agua enfriamiento	Menos	Agua de enfriamiento insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> •Válvulas que permiten el tránsito del agua se encontraban cerradas o medio abiertas. •Cantidad de agua insuficiente para la cantidad de material que está siendo procesado •La bomba proporciona energía mecánica insuficiente para el transporte del agua • La fuente de agua no dispone de agua insuficiente 	<ul style="list-style-type: none"> •Elevación de la temperatura y evaporación de las sustancias •Desgaste de las paredes del equipo 	<ul style="list-style-type: none"> •Implementar lazo de control que mida la temperatura de la chaqueta y manipule el flujo de agua de enfriamiento dirigido al equipo •Disponer de señalización del estado de aperturas de las válvulas manuales a lo largo de la instalación •Considerar reemplazo y mantenimiento de la bomba de suministro de agua; considerar un incremento en la potencia de la bomba

9.3.5 *Nodo 5: Flujo a través del filtro*

NODO 5: FLUJO A TRAVES DEL FILTRO					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Flujo	No	Flujo inferior a la salida del filtro	<ul style="list-style-type: none"> •Taponamiento de las tuberías •Saturación del medio filtrante 	<ul style="list-style-type: none"> •Derrame del producto •Taponamiento del proceso •Flujo nulo hacia la línea de envase 	<ul style="list-style-type: none"> •Implementar un sistema de control que mida el flujo a la salida del filtro y manipule la válvula de suministro al mismo

9.3.6 *Nodo 6: Calentamiento en V-202*

NODO 6: CALENTAMIENTO EN V-202					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Temperatura	Menos	Menor temperatura del vapor	<ul style="list-style-type: none"> •Vapor de agua generado a condiciones no óptimas •Fuga de vapor a lo largo de las tuberías • El combustible (ACPM) no se quema por completo generando vapor con calidad insuficiente 	<ul style="list-style-type: none"> •Temperatura de mezclado de se alcanza •Obtención de un producto saturado en el componente A 	<ul style="list-style-type: none"> •Establecer otra línea de suministro de garantice la temperatura de mezclado •Implementar sistema de control que mida la presión en las tuberías de vapor y manipule el encendido de una alarma. •Disminuir la cantidad de masa por lote y aumentar el número de lotes •Implementar lazo de control que mida la temperatura del tanque y manipule el encendido de una alarma. •Verificación de las propiedades fisicoquímicas del combustible •Precalentamiento de las tuberías de vapor,

					verificación de las posiciones de inicio de los interruptores de las válvulas y bombas, etc.
Temperatura	Más	Mayor temperatura en V-202	<ul style="list-style-type: none"> •Presencia de impurezas u otros materiales con propiedades desconocidas cargados al tanque •Flujo de vapor excesivo •Condición del vapor en un estado diferente al de diseño 	<ul style="list-style-type: none"> •Desactivación del ingrediente activo •Evaporación de los componentes •Potencial situación de explosión e incendio •Desgaste de las paredes del equipo 	<ul style="list-style-type: none"> •Implementar lazo de control que mida la temperatura del tanque y manipule el flujo de vapor •Implementar un lazo de control que mida la temperatura del tanque y manipule el flujo del componente A al tanque •Pasar las materias primas un sistema de filtración y caracterización •Evaluar el incremento de la temperatura que sufre el agua de enfriamiento por cada lote.

9.3.7 Nodo 7: Transporte del producto a TK-201

NODO 7: TRANSPORTE DEL PRODUCTO A TK-201					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Potencia bomba	Menos	Menor potencia de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> •Falla en el suministro de electricidad •Potencia de la bomba insuficiente para la carga de material •Obstrucción en las tuberías de transporte •El nivel en el tanque de agitación es muy bajo que imposibilita el 	<ul style="list-style-type: none"> •Imposibilidad de transporte de material causando embotellamiento en el proceso •El ingrediente activo no se solubiliza pro completo (por el no transporte de material de un tanque a otro) •Incremento de la temperatura; generación de 	<ul style="list-style-type: none"> •Considerar el reemplazo de la bomba de suministro •Considerar adquirir un motor con mayor potencia de bombeo •Aumentar la cantidad y la rigurosidad con la que se realiza el mantenimiento

			transporte de la mezcla al tanque de almacenamiento	un efecto de cavitación	sobre los equipos •Implementar un lazo de control que mida el nivel del tanque de almacenamiento y manipule el encendido de la bomba de suministro
--	--	--	---	-------------------------	---

9.3.8 Nodo 8: Mezclado en V-301

NODO 8: MEZCLADO V-301					
Variable	Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctivas
Temperatura	Más	Mayor temperatura en tanque de agitación	<ul style="list-style-type: none"> •Incremento de la temperatura a causa de la evaporación de sustancias aguas arriba •Agitación insuficiente en el tanque 	<ul style="list-style-type: none"> •No se obtiene la composición deseada para el producto •Reducción de la efectividad del producto al momento de su utilización 	<ul style="list-style-type: none"> •Disponer de un sistema de enfriamiento con agua de servicio que garantice la temperatura adecuada en el tanque de agitación •Implementar un sistema de control que mida la temperatura del tanque de agitación y manipule el flujo de agua de enfriamiento •Situar medidores de temperatura en cada etapa del proceso que conduzca hasta el tanque de granel
Flujo producto	Menos	Menor flujo en tanque de agitación	<ul style="list-style-type: none"> •Nivel bajo de líquido en el tanque de agitación 	<ul style="list-style-type: none"> •No se abastece la línea de envase 	<ul style="list-style-type: none"> •Implementar un sistema de control que media el flujo de salida del

			<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimiento nulo desde el tanque de granel • Válvula de suministro cerrada 		tanque de agitación y manipule la válvula de salida
Nivel líquido	Menos	Flujo bajo en el tanque de agitación	<ul style="list-style-type: none"> • La bomba se encuentra apaga • No hay suministro de producto (proveniente de los procesos de producción de fertilizantes y plaguicidas) al tanque de agitación 	<ul style="list-style-type: none"> • No se abastece la línea de envase • Embotellamiento general del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un sistema de control que registre el nivel del tanque de agitación y encienda o apague la bomba de suministro

9.4 P&ID de las medidas recomendadas para los nodos

A continuación, se muestran los lazos de control propuestos como medidas correctivas en los nodos que así lo requirieron y demás recomendaciones para los procesos.

Nodo 1	
Variable	Agitación
Palabra clave	Menos
Variable controlada	Nivel tanque
Variable manipulada	Flujo bomba alimento Apertura válvula para F

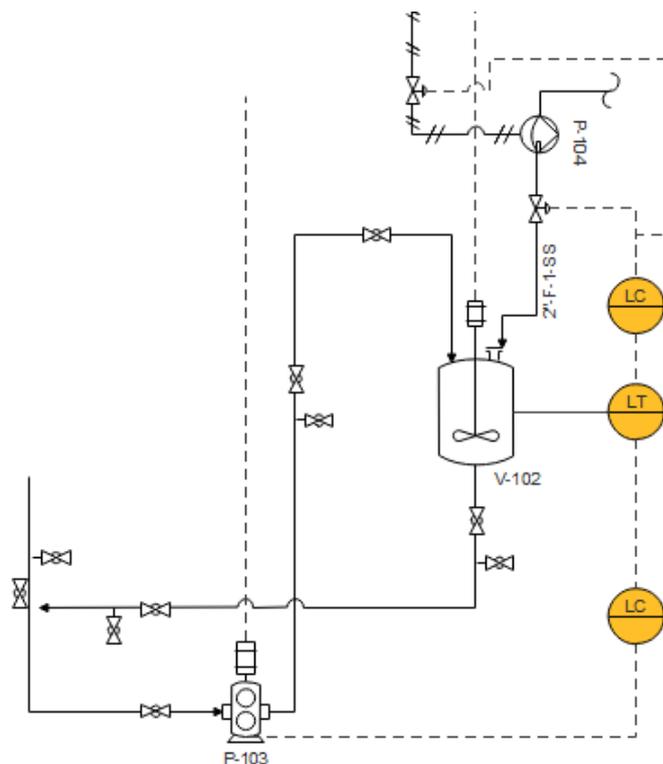


Figura 27: Sistema de control propuesto para el Nodo 1

	Nodo 3	Nodo 4	
Variable	Orden de adición	Flujo agua enfriamiento	
Palabra Clave	Reverso	Menos	
Variable controlada	Agitación tanque	Presión tuberías	Temperatura chaqueta
Variable manipulada	Flujo de G	Apertura de válvula	Apertura de la válvula

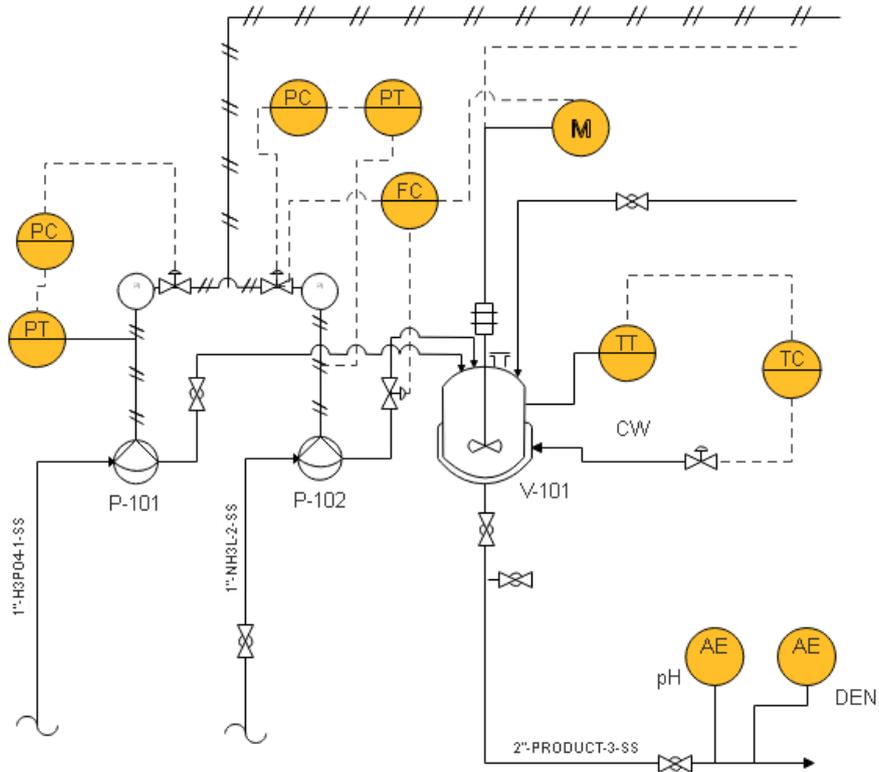


Figura 28: Sistemas de control propuesto para el Nodo 3 y 4

NODO 5	
Variable	Flujo
Palabra clave	No
Variable controlada	Flujo salida del filtro
Variable manipulada	Apertura de la válvula de suministro

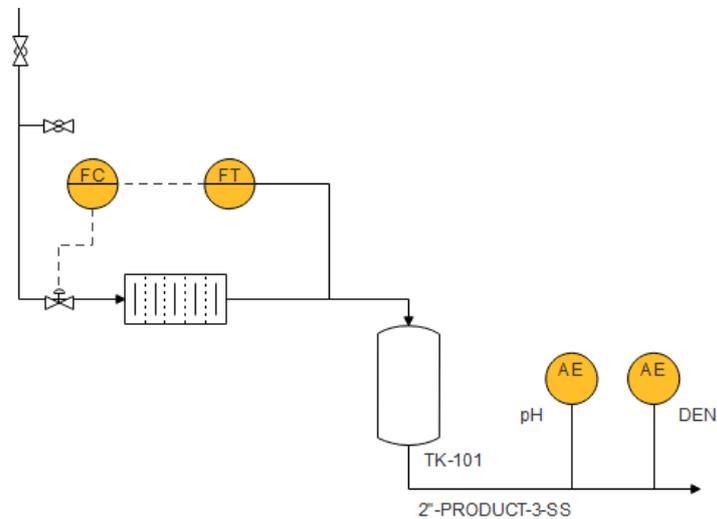


Figura 29: Sistema de control propuesto para el Nodo 5

NODO 6				
Variable	Temperatura			
Palabra clave	Menos	Más		Menos
Variable controlada	Temperatura tanque			Presión tubería
Variable manipulada	Activación alarma	Flujo vapor	Flujo sustancia A	Activación alarma

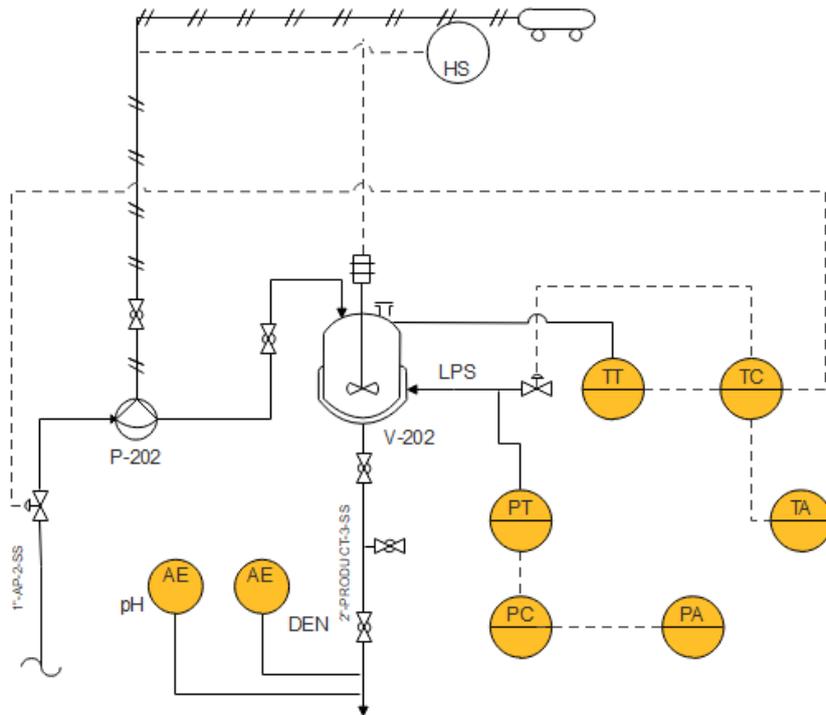


Figura 30: Sistemas de control propuesto para el Nodo 6

NODO 7	
Variable	Potencia bomba
Palabra clave	Menos
Variable controlada	Nivel tanque de agitación
Variable manipulada	Estado de la bomba

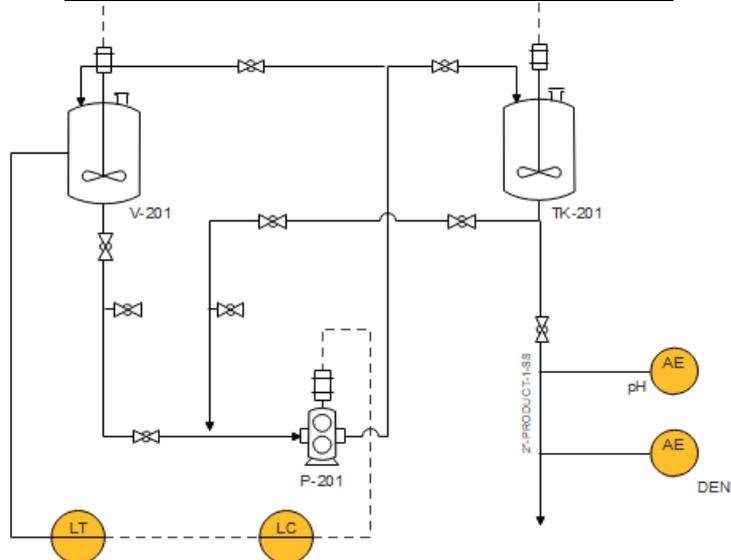


Figura 31: Sistema de control propuesto para el Nodo 7

NODO 8		
Variable	Flujo producto tanque de agitación	Nivel de líquido
Palabra clave	Menos	
Variable controlada	Flujo producto	Nivel tanque de agitación
Variable manipulada	Válvula producto	Estado de la bomba

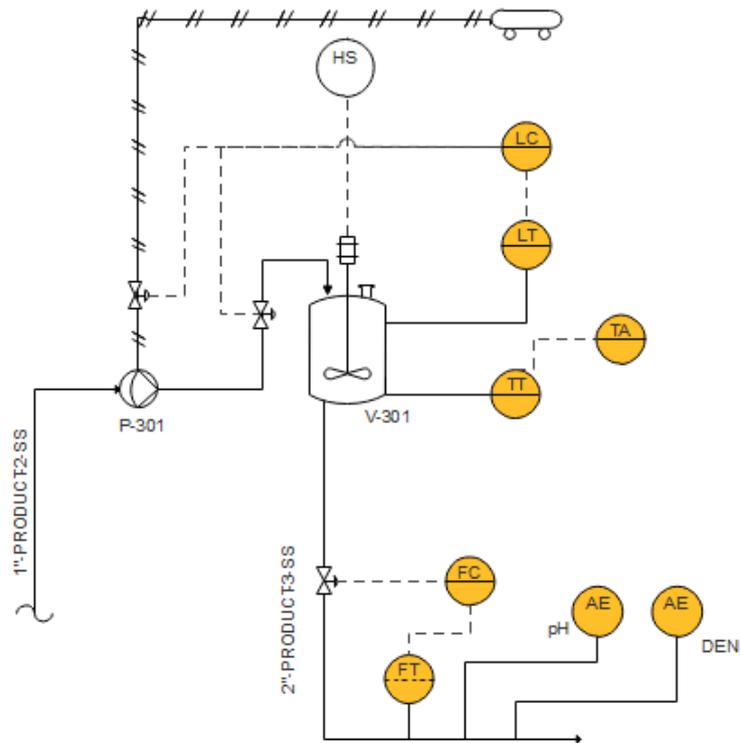


Figura 32: Sistemas de control propuesto para el Nodo 8

10. Conclusiones

En el presente documento se realizó, a partir de una técnica de análisis de riesgo, un estudio de análisis de riesgos y operabilidad (HAZOP) a los nodos críticos de operación correspondiente a los procesos productivos de fertilizantes y plaguicidas, así como el proceso de envasado que se lleva a cabo en la empresa maquiladora de agroquímicos y productos veterinarios, More Química S.A.S situada en Soacha, Cundinamarca.

Luego de la aplicación del método multicriterio Electre se determinó que la técnica HAZOP, en comparación con las demás evaluadas, era la más conveniente para realizar el análisis de riesgo a los procesos en cuestión. La explicación de esta elección se debe principalmente a la asignación de valores ventajosos a la técnica HAZOP por requerir información en una fase temprana del proceso, a que esta identifica tanto fallos técnicos como de operación y a que su grado de complejidad no es tan elevado. Sin embargo, los valores más bajos y su principal desventaja es la obtención de resultados cualitativos.

Los procesos de la empresa se dividieron en 8 secciones en total (llamados nodos), en donde en cada uno de estos se realizaron desviaciones hipotéticas a variables claves de los mismos para analizar las posibles causas y consecuencias derivadas de tales desviaciones. De especial importancia se obtuvieron diversas medidas correctivas que, de ser adoptadas, representan una fuente importante en la prevención de los riesgos identificados por el análisis. Concretamente, las medidas correctivas abarcaron: una mayor severidad en la revisión de los equipos, chequeo de las conexiones, mejoramiento en los planes de limpiezas, seguimiento de las secuencias de adición de materias primas, chequeo de las propiedades de los suministros, entre otras, por parte de los encargados inmediatos del proceso (operadores o supervisores); recomendaciones en la adquisición de equipos que permitan garantizar una operación correcta y segura en los procesos; recomendaciones en los esquemas de producción; especialmente se sugirieron lazos de control que incluyan el constante monitoreo de variables como presión, temperatura, agitación en tanques, para manipular objetos de control como alarmas, válvulas, bombas, entre otros más.

11. Recomendaciones

El trabajo aquí presentado pertenece a la construcción del Plan de Gestión de Riesgos de More Química de Colombia S.A.S, motivo por el cual la información publicada está limitada bajo las directrices ofrecidas para el trabajo en términos de confidencialidad. Por lo cual, la continuación del proyecto obedece al análisis de riesgos en todos los procesos de la organización y para ello se recomienda tener en cuenta el historial de la compañía en cuanto a accidentes presentados para establecer los puntos críticos y claves para el análisis, o confirmar el criterio del autor que establece en este documento, que siendo la actividad económica de la empresa la maquila, se debió enfatizar en este proceso productivo.

Por otra parte, si es de interés del experto que está desarrollando el proceso continuar con la implementación de las medidas correctivas aquí propuestas, se recomienda realizar un método cuantitativo que permita identificar cuáles de los riesgos requieren el tratamiento y cuáles no, y de esta manera hacer un estudio económico de interés para los socios, donde se pueda demostrar la importancia de que se lleve a cabo.

12. Referencias

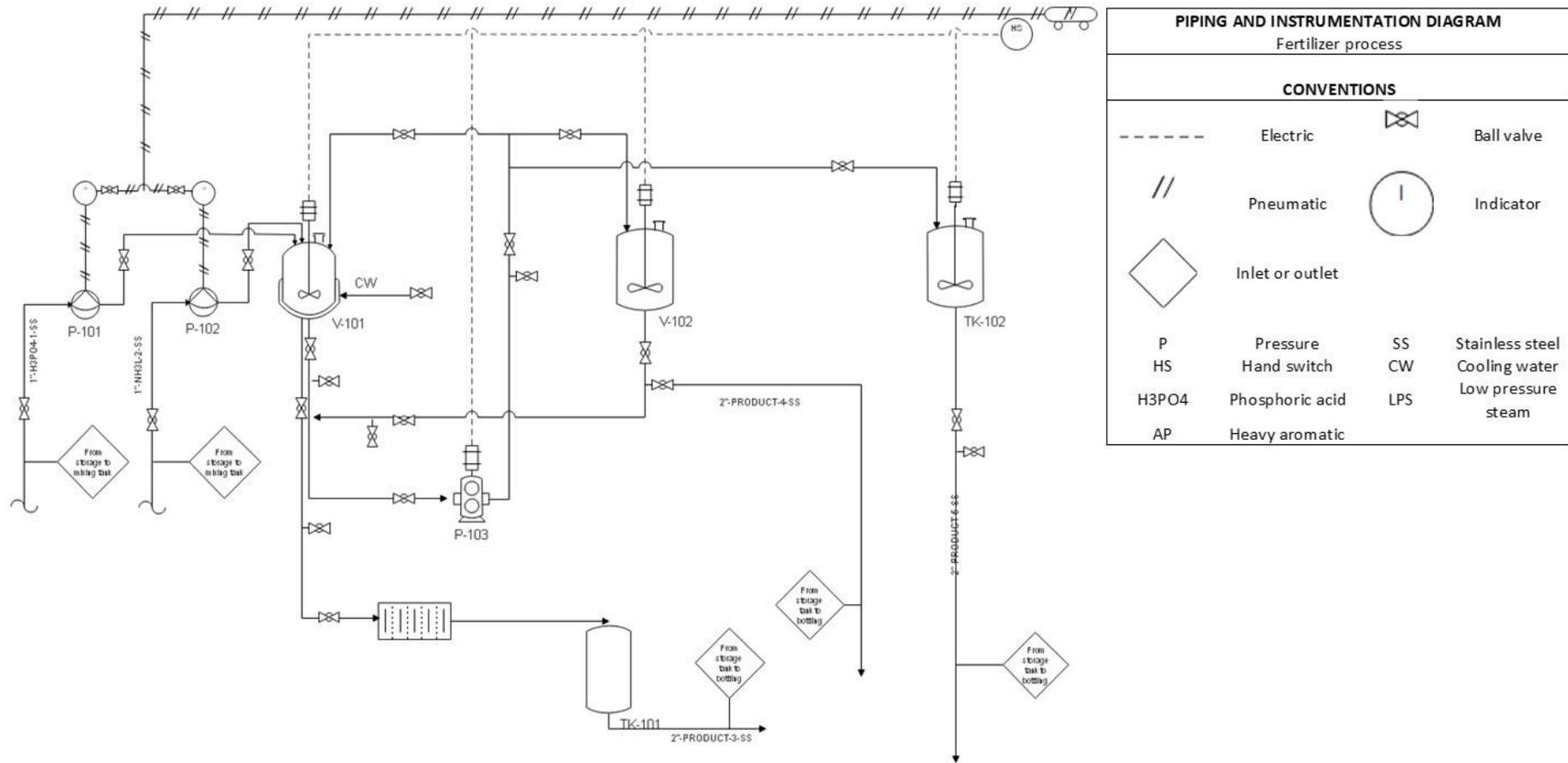
- [1] ICONTEC, “Norma técnica NTC-ISO 31000 Colombiana. Gestión del riesgo, Principios y directrices.”
- [2] Departamento Administrativo de la Republica de Colombia, “DECRETO NÚMERO 2157 DE 2017,” 2017.
- [3] E. : Yaillet *et al.*, “Caracterización y usos de las técnicas cuantitativas de valoración de riesgos en los procesos químicos industriales,” 2015.
- [4] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, “DECRETO NÚMERO 1607 DE 2002,” 2002.
- [5] D. P. Nolan, *Safety and Security Review for the Process Industries: Application of HAZOP, PHA, Wha-If and SVA reviews*, Fourth. Elsevier, 2015.
- [6] D. McDonald, *Practical Industrial Safety, Risk Assesment and Shutdown Systems*. Elsevier Science & Technology Books, 2004.
- [7] D. A. Crowl and J. F. Louvar, *Chemical Process Safety Fundamentals with Applications Third Edition*, Second. Prentice hall international series in the physical and chemical engineering sciences, 2011.
- [8] G. Reniers L.L, N. Khakzad, and P. Van Gelder, *Security Risk Assesment in the chemical and process industry*, vol. 1. De Gruyter, 2018.
- [9] G. Reniers L.L, *Multi-Plant Safety and Security Management in the Chemical and Process Industries*, vol. 53, no. 9. Wiley, 2015.
- [10] Real Academia Española, “Diccionario de la lengua española,” 2019. [Online]. Available: <http://www.rae.es/>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [11] S. O. Arroyo, “Manual de conceptos de Riesgos y Factores de Riesgo Para Análisis de Peligrosidad,” 2014.
- [12] J. S. Llanes and M. P. Ojeda, “Análisis de Riesgo Industrial,” Caracas, Venezuela, 2001.
- [13] M. G. Montiel, “Metodologías para la evaluación de Riesgos en Puestos, Lugares y equipos,” 2014.
- [14] A. Lavell, “Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición,” 2001.
- [15] D. Á. Tamayo and E. Gómez Salazar, “Un estado del arte del análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos en proyectos,” 2016.
- [16] Dirección general de protección civil, “Guía Técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgo,” 1980.
- [17] J. Ruiz Pallarés, “Métodos de decisión multicriterio electre y topsis aplicados a la elección de un dispositivo móvil,” Universidad de Sevilla, 2015.
- [18] M. de los Á. G. Villareal, “Aplicación de análisis de riesgos y operatibilidad HAZOP sobre planta de hidrocarbonilación de dimetiléter a media presión,” Universidad de Sevilla, 2017.
- [19] E. C. Macías, “Evaluación de riesgos de proceso en instalaciones industriales,” 2001.
- [20] Escuela técnica superior de Ingenieros industriales, “Análisis de Riesgos Industriales en Plantas Químicas y Petroleras. Método HAZOP,” pp. 47–52, 2017.
- [21] F. Crawley and B. Tyler, *HAZOP : guide to best practice : guidelines to best practice for the process and chemical industries*. .

- [22] Product Quality Research Institute, "Risk Management Training Guides: Hazard & Operability Analysis (HAZOP)."
- [23] H. G. Lawley, "Operability Studies and Hazard Analysis," *Chem. Eng. Prog.*, vol. 4, pp. 45–56, 1974.
- [24] J. Dunj3, V. Fthenakis, J. A. V3lchez, and J. Arnaldos, "Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review," *J. Hazard. Mater.*, vol. 173, no. 1–3, pp. 19–32, Jan. 2010.
- [25] W.-C. Jung *et al.*, "Hydrogen breakthrough behaviors for cryogenic adsorption and HAZOP study," *Fusion Eng. Des.*, vol. 134, pp. 123–127, Sep. 2018.
- [26] S. Zou, Y. Kuang, D. Tang, Z. Guo, and S. Xu, "Risk analysis of high level radioactive waste storage tank based on HAZOP," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 119, pp. 106–116, Sep. 2018.
- [27] J. Labovsk3, Z. Švandov3, J. Markoř, and L. Jelemensk3, "Model-based HAZOP study of a real MTBE plant," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 20, no. 3, pp. 230–237, May 2007.
- [28] M. Cheraghi, A. Eslami Baladeh, and N. Khakzad, "A fuzzy multi-attribute HAZOP technique (FMA-HAZOP): Application to gas wellhead facilities," *Saf. Sci.*, vol. 114, pp. 12–22, Apr. 2019.
- [29] Merck, "Frases de peligro y consejos de prudencia." [Online]. Available: <http://www.merckmillipore.com/CO/es/support/safety/h-and-p-statements/5m2b.qB.aKQAAAF4yYcWdw7,nav?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>. [Accessed: 07-Jul-2019].

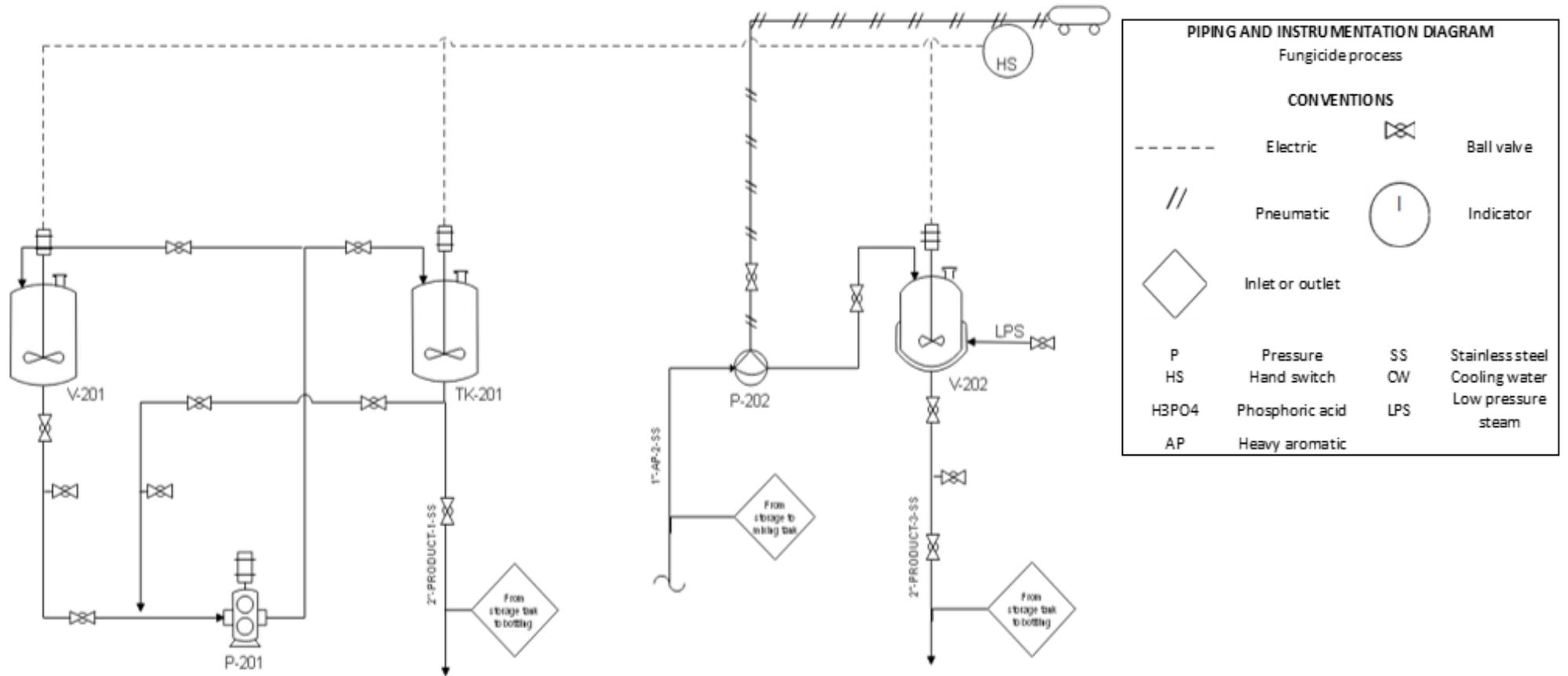
Anexos

Anexo A: P&ID ampliado con convención

Proceso fertilizantes



Proceso plaguicidas



Proceso de envase

