UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAISO – CHILE

“ADAPTACIÓN DE METODOLOGÍA HAZOP EN EL ESTUDIO FUNCIONAL DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS, APLICADO A UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTO PARA GANADO.”

BORIS MIJAIL ARRIAGADA POLONI

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: RAFAEL MENA YANSSEN
PROFESOR CORREFERENTE: GUSTAVO BORÉ BACIGALUPPI

Diciembre – 2020

AGRADECIMIENTOS

Por sobre todo a mis padres, quienes, si algo no han podido darme o enseñarme, se han esmerado en poner a mi disposición las herramientas para que pueda alcanzarlo.

RESUMEN

Este proyecto consiste en la adaptación del método de análisis de riesgos HAZOP, y su aplicación en el caso real de la etapa de diseño de una línea mecánica automatizada de transporte y descarga de contenedores plásticos industriales de 1 [m3]. Todo esto con el objetivo de identificar y analizar posibles fallas que pueda presentar el sistema una vez esté en funcionamiento y proponer las recomendaciones o correcciones pertinentes en la etapa de diseño.

Primero, definiremos el método HAZOP, el cual es un sistema metódico que analiza parte por parte (nodos) un proyecto, operación industrial o en este caso sistema mecánico, para estudiar en cada punto las consecuencias de posibles desviaciones del normal funcionamiento. Además, exploraremos su origen, su campo de aplicación, y definiremos los pasos en los que consiste.

Luego, ahondaremos en el sistema mecánico automatizado en el que se aplicará, los objetivos del proyecto, las partes que lo componen y sus características. En este punto se presentarán diagramas del sistema.

Para entonces entrar de lleno en lo que es la adaptación y aplicación de la metodología HAZOP al caso de estudio. El estudio se centrará en el sistema mecánico y consistirá en un análisis previo de las desviaciones y reducción a las más críticas, para luego ser analizadas en mayor profundidad de manera individual.

Sobre la adaptación y aplicación del método se concluye que optimiza el proceso de estudio y análisis, logrando minimizar significativamente el número de desviaciones a estudiar reduciendo el tiempo utilizado en sesiones el cual usualmente contempla alrededor de 5 días laborales.

Paralelamente un análisis posterior a esta adaptación pone en duda la rigurosidad del estudio; podría quedar a criterio del moderador y su análisis previo cuales son los puntos más importantes, pudiendo pasar por alto de manera involuntaria desviaciones que podrían ser de interés.

GLOSARIO

Intención: Modo normal de operación en que las características físicas y químicas del producto a procesar se mantienen dentro de los limites estimados en cada etapa del proceso.

Desviación: Cualquier falla o alteración en las características físicas o químicas que se escape de la intención.

Causa: Razón u origen de la desviación.

Consecuencia: Resultado ocasionado por la desviación.

Área de estudio: Definición de los límites de máquinas y procesos a analizar en el estudio.

Nudos: Subdivisión mínima del área de estudio, para analizar de manera puntual cada una de las interacciones.

Variables: Características físicas, químicas, de posición o tiempo que podrían verse afectadas por las desviaciones

Palabras Guía: Grupo de palabras para conducir las variables en las distintas maneras en que podrían verse alteradas.

P&IDs: Diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) (en inglés: *Piping and Instrumentation Diagram).*

RCM: Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad).

ACR: Análisis de Causa raíz.

ARU: unidad de Regeneración de Aminas

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS ii

RESUMEN iii

GLOSARIO iv

ÍNDICE v

INTRODUCCIÓN viii

OBJETIVOS ix

1. ¿Qué es Hazop? 10

1.1 Origen y antecedentes. 10

1.2 Aplicaciones (rubros, especialidades, proyectos). 12

1.3 Descripción de la metodología. 13

1.3.1 Definición del área de estudio: 13

1.3.2 Definición de los nudos: 14

1.3.3 Aplicación de palabras guía: 15

1.3.4 Definición de desviaciones a estudiar: 16

1.3.5 Sesiones HAZOP: 17

1.3.6 Generación de informe final: 19

1.4 Principales características. 19

1.4.1 Metódico y exhaustivo 20

1.4.2 Es una técnica cualitativa 20

1.4.3 Actividad multidisciplinaria 20

1.4.4 Trabaja sobre supuestos 21

1.4.5 Finalidad: Generar Recomendaciones 21

1.5 Recursos Necesarios 21

1.5.1 Información Fiable 21
1.5.2 Coordinador/ director del grupo. 22
1.5.3 Soportes informáticos 23
1.6 Caso de aplicación tipo 23
2. Hazop aplicado a sistemas mecánicos y automatización. 25
2.1 Estado del arte. 25
2.2 Consideraciones y limitaciones actuales de HAZOP aplicado 26
2.3 Propuesta de adaptación de la metodología. 27
2.4 Criterios de estudio 28
3. Aplicación de Hazop 29
3.1 Aplicación a un proyecto de automatización. 29
3.1.1 Antecedentes de la empresa. 29
3.1.2 Objetivos del proyecto de automatización. 30
3.1.3 Definición del proyecto. 31
3.2 Definición y descripción de área de estudio. 33
3.3 Definición de los nodos y variables. 34
3.4 Palabras guía. 36
3.5 Definición de las desviaciones a estudiar. 36
3.6 Análisis sistemático de desviaciones y sesiones HAZOP. 37
3.7 Resultado del estudio 38
4. Propuesta de mejora del diseño actual 39
4.1 Resumen de conflictos 40
4.2 Análisis de Casos críticos 41
4.3 Propuesta de cambios a realizar 42
5. Conclusiones 43

5.1 Principales cambios a metodología HAZOP. 43
5.2 Resultado de la aplicación de HAZOP 44
5.3 Potenciales observaciones y desarrollos futuros. 45
BIBLIOGRAFÍA.....47
Anexo 1: Diagrama Disposición Equipos. 49
Anexo 2: Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 1 50
Anexo 3: Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 2 59

INTRODUCCIÓN

Se dice que “la tecnología avanza a pasos agigantados” y es nuestro deber como ingenieros seguirles el paso. Hoy en día no basta con innovaciones basadas en una disciplina exclusiva, cada vez más, vemos como las nuevas soluciones para la sociedad y la industria integran tanto mecánica como electrónica, informática, química o automatización. Por lo que, como ingenieros mecánicos, nuestras contribuciones al diseño deben poder integrarse a estas disciplinas, y en conjunto, asegurar la confiabilidad de los procesos.

Con el fin de asegurar la sinergia entre las partes involucradas en el proceso de diseño de maquinaria, es que se plantea la utilización de HAZOP, un método de análisis de riesgo que identifica y analiza posibles riesgos para la normal operación de una planta, equipo o proceso industrial, asegurando así, la correcta integración de las distintas partes del diseño.

En particular en este trabajo aplicaremos el método en el área mecánica de la etapa de diseño de un equipo automatizado para una industria nacional de reciclaje de alimentos, agregando robustez al sistema mecánico evitando fallas, o “desviaciones” incluso si hay errores en la programación o manipulación.

El método consiste en el análisis exhaustivo etapa por etapa del proceso, generando supuestos y analizando sus consecuencias, con el fin de realizar las recomendaciones pertinentes, y por consecuencia, modificaciones al diseño, antes de su fabricación o montaje.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es el de investigar, adaptar y aplicar la metodología de análisis de riesgos HAZOP en la etapa de diseño funcional de sistemas mecánicos automatizados, enfocado a la identificación y análisis de potenciales desviaciones en el normal funcionamiento del sistema mecánico.

Puntualmente se identifican los siguientes objetivos:

- **Generar un marco teórico:**
  Estudiar la técnica de identificación de riesgos operacionales HAZOP, su metodología, fases, áreas de aplicación y limitaciones.

- **Estudiar y definir área de aplicación:**
  Realizar un estudio recopilatorio de información del diseño al cual se le aplicará la metodología incluyendo diagramas de funcionamiento y planos de la maquinaria involucrada.

- **Adaptar la metodología al caso particular:**
  Generar una propuesta de adaptación de la metodología HAZOP para su aplicación en la fase de diseño de sistemas mecánico con funcionamiento automático generando las respectivas consideraciones al caso particular.

- **Realizar el análisis HAZOP:**
  Aplicar la metodología y sus fases en el caso de estudio.

Además, se considera como culminación del trabajo sugerir mejoras en el diseño funcional original, basado en la investigación realizada, con el fin inherente de evitar fallos en la puesta en marcha y funcionamiento del sistema.

1. ¿Qué es Hazop?

El método HAZOP (Hazard and Operability Study, o también conocido en español como AFO - Análisis Funcional de Operatividad) es una técnica de análisis e identificación de riesgos cualitativa, inductiva y metódica basada en la premisa de que existen riesgos, potenciales accidentes o problemas de operabilidad, que se producen como consecuencia de una **desviación de las variables de proceso** con respecto a los parámetros normales de operación. Mediante la utilización de palabras guía que cuestionan como las condiciones de funcionamiento podrían variar de la intención del diseño y provocar dichas desviaciones. Normalmente lo realiza un equipo multidisciplinario de trabajo en una serie de reuniones.

Tiene como objetivos determinar las causas iniciales de las desviaciones, las posibles consecuencias y las medidas más adecuadas para evitarlas.

Ya sea aplicado en la etapa de diseño, como en la de operación, la metodología consiste en evaluar, en todas las líneas y en todas las etapas, de manera sistemática las consecuencias de posibles desviaciones en todas las unidades de proceso, tanto si es continuo como discontinuo.

1.1 Origen y antecedentes.

Se considera que el método surgió en 1963 en la compañía *Imperial Chemical Industries, ICI*, una de las principales compañías químicas de Inglaterra y el mundo en ese entonces. Posteriormente, se generalizó y formalizó, y actualmente es una de las herramientas más utilizadas internacionalmente en la identificación de riesgos en una instalación industrial. [1]

Este tipo de análisis proviene originalmente de una técnica llamada examen crítico (*critical examination*) que buscaba "alternativas" al normal funcionamiento de los procesos industriales, las cuales podían traducirse en fallas y accidentes en las plantas industriales de alto riesgo, posteriormente se cambió

el término a las llamadas "desviaciones". El método se refinó dentro de la empresa, bajo el nombre de estudios de operabilidad, y para cuando se produjo el primer diseño detallado de la metodología se convirtió en una de las etapas dentro del procedimiento de análisis de peligros de la ICI.

La técnica se empezó a utilizar más ampliamente luego del “Desastre de Flixborough”, en la localidad de Flixborough, Inglaterra en 1974, En la cual se produce una explosión por la rotura de una tubería de 2 pulgadas colocada provisoriamente entre 2 reactores, provocando la liberación de una gran cantidad de ciclohexano que, al mezclarse con el aire, provocó el incendio dejando 28 fallecidos, 36 heridos graves y la destrucción de las edificaciones en un radio de 600 m. La investigación posterior mostró las deficiencias en el sistema de gestión de seguridad de la planta, principalmente en los procedimientos para realizar cambios o modificaciones en el mantenimiento y en la operación.

Dentro del informe oficial del accidente se destaca en “las lecciones que se deben aprender” [2]:

“The disaster was caused wholly by the coincidence of a number of unlikely errors in the design and installation of a modification. Such a combination of errors is very unlikely ever to be repeated. Our recommendations should ensure that no similar combination occurs again and that even if it should do so, the errors would be detected before any serious consequences ensued.”

Lo que se podría traducir como[1]:

“El desastre fue causado totalmente por la coincidencia de varios errores poco probables en el diseño e instalación de una modificación. Tal combinación de errores es muy poco probable que se repita. Nuestras recomendaciones deben garantizar que no se vuelva a producir una combinación similar (de errores) y

[1] Traducción propia, no oficial.

que, incluso si así fuera, los errores se detectarían antes de que se produjeran consecuencias graves.”

En 1977 se publica un guía oficial del método y para 1983 el termino HAZOP se empieza a utilizar en publicaciones formales sobre el tema.

1.2 Aplicaciones (rubros, especialidades, proyectos).

El método HAZOP fue originalmente concebido para el estudio de sistemas de procesos químicos de alto riesgo, en particular para el análisis en la etapa de diseño de plantas de procesos químicos o ampliaciones por incorporar, encontrando rápidamente su lugar en procesos petroquímicos y farmacéuticos.

Pero con el transcurso del tiempo el campo de aplicación se ha ampliado a otros tipos de instalaciones y procesos de distinta complejidad; implementándose tanto en fase de diseño como en operación, de plantas o procesos, en las más diversas áreas, incluyendo sistemas y procedimientos mecánicos, electrónicos y de software e incluso a cambios organizacionales y revisión de contratos legales.

Y a distintas escalas como, por ejemplo: estaciones de servicio (Dispensadores de combustible) [3], plantas de deshidratación de alfalfa [4] o instalaciones eléctricas industriales [5], además existen registros de adaptación de la metodología al estudio de la calidad y productividad [6].

Es interesante comentar que también varía el enfoque con el que se aplica el método, ya que, si bien en algunos ejemplos se aplica en seguridad industrial, en otros se centra en el aseguramiento de la calidad del producto, en el sistema de control o en el software.

Los casos documentados de aplicación a sistemas mecánicos son más bien escasos, encontrándose ejemplos casi anecdóticos y específicamente en sistemas mecánicos automatizados no se a encontrado ningún ejemplo.

1.3 Descripción de la metodología.

Una de las cualidades que caracteriza y diferencia a este método es su forma estructurada y sistemática que se divide en 6 pasos principales que se describen a continuación:

1.3.1 Definición del área de estudio:

Consiste en acotar y delimitar las áreas o procesos a los cuales se aplica la técnica, además de definir el alcance y objetivos del estudio. Por ejemplo, una maquinaria, línea de procesamiento o producción en específico. En la Ilustración 1 se observa un ejemplo simplificado en el cual se a separado un proceso de diseño y fabricación de un producto según sus etapas y se ha delimitado el área de estudio a la etapa de *PACKAGING* (embalaje).

Ilustración 1: Ejemplo grafico en el que se delimita el estudio a un área.
Imagen de: es.vecteezy.com

1.3.2 Definición de los nudos:

En cada uno de estos procesos o líneas se debe subdividir fijando una serie de puntos, nudos o nodos enumerados y claramente identificables en el proceso. Por ejemplo, una tubería de alimentación, una bomba, depósito de almacenamiento, línea de transporte, etc. La técnica HAZOP se aplica a cada uno de estos puntos.

El criterio para definir los nudos toma principalmente los puntos del proceso en los cuales se produzca un cambio en alguna de las variables significativas. Además, se caracteriza a cada nudo con sus variables pertinentes, como puede ser: Temperatura, Presión, Caudal, Viscosidad, Concentración de algún compuesto o Característica física/química. Siguiendo con el ejemplo del punto anterior, en la Ilustración 2 se subdivide el área de *PACKAGING* según los procesos o maquinarias que influyen en el producto, fijando cada proceso o maquinaria como un nudo.

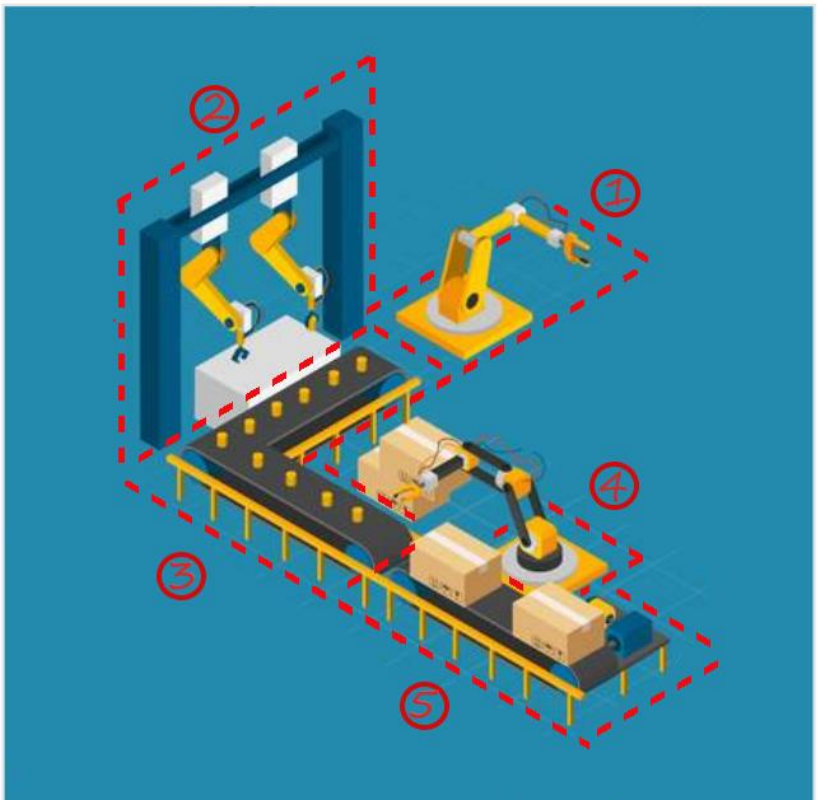


Ilustración 2: Ejemplo en el que los nudos se seleccionan según maquinarias. Fuente: freepik.es

1.3.3 Aplicación de palabras guía:

Las "palabras guía" se utilizan para hacer visible cómo puede verse alterada cada variable de los nodos definidos anteriormente que entran o salen de un elemento determinado. Se aplican tanto a acciones (reacciones, transferencias, etc.) como a parámetros específicos (presión, caudal, temperatura, etc.). En la tabla a continuación se muestran las palabras guías más comunes junto con su significado y un ejemplo de aplicación:

Palabra Guía	**Significado**	**Ejemplo**
No	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay velocidad
Más	Aumento cuantitativo de una variable	Mas Temperatura/más flujo
Menos	Disminución cuantitativa de una variable	Menor velocidad/Menor peso
Inverso	Inversión en el sentido de la variable (Efecto contrario)	Movimiento en la dirección contraria
Además de	Aumento cualitativo	Acción extra a las programadas
Parte de	Disminución cualitativa de una variable	Parte de la secuencia
Diferente de	Actividades distintas respecto a la operación normal	Cualquier actividad

1.3.4 Definición de desviaciones a estudiar:

Para cada nodo se plantea de forma sistemática las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable las diferentes palabras guía. Se tiene que realizar un análisis evaluativo previo, para comprobar lo que debemos y podemos aplicar a la hora de realizar las combinaciones posibles existentes entre la palabra guía y la variable del proceso, descartándose las desviaciones inviables (p.e "Inverso-Posición") o que repitan el mismo análisis (p.e "No velocidad" vs "No flujo").

	Variables			
Palabras guía	Presión	Caudal	Velocidad	etc.
Mas	Inviable	Posible	Posible	-
Menos	Posible	Posible	Inviable	-
Inverso	Inviable	Posible	Inviable	-
etc.	-	-	-	-

Alternativamente, se puede fijar en una fase previa de preparación del estudio la lista de las desviaciones esenciales a estudiar en cada nodo, aunque esto podría no garantizar la exhaustividad del método.

1.3.5 Sesiones HAZOP:

Las sesiones HAZOP se llevan a cabo por un equipo de trabajo multidisciplinario de expertos de entre 4 y 7 personas en los que se debe incluir los especialistas de las distintas áreas involucradas en el diseño, además de supervisores de operación y operarios.

Estas tienen como objetivo el análisis sistemático de las desviaciones en todas las líneas o nudos seleccionados a partir de las palabras guía aplicadas a determinadas variables. Se determinan las posibles causas, las posibles consecuencias, las respuestas que se proponen, así como las acciones a tomar, la Ilustración 1 muestra la secuencia lógica de los pasos que conducen a un HAZOP. Los elementos principales a considerar son:

- Intención
- Desviación
- Causas
- Consecuencias
    - Peligros
    - Dificultades de operación
- Salvaguardas
- Acción correctiva

Típicamente un miembro del equipo debe esquematizar el propósito de la línea del proceso elegida y como se espera que opere.

Luego de esto, como resultado de la creación hipotética de la situación de peligro o problema operacional, se deben considerar los resultados o consecuencias de la desviación. Cuando los eventos considerados son creíbles y tienen consecuencias significativas, las salvaguardas existentes deben ser evaluadas y de ser necesario se procede a generar consideraciones adicionales con el fin de eliminar la causa detectada.

A continuación, en la Ilustración 3 se presenta el diagrama de flujo del proceso de análisis en las sesiones HAZOP.

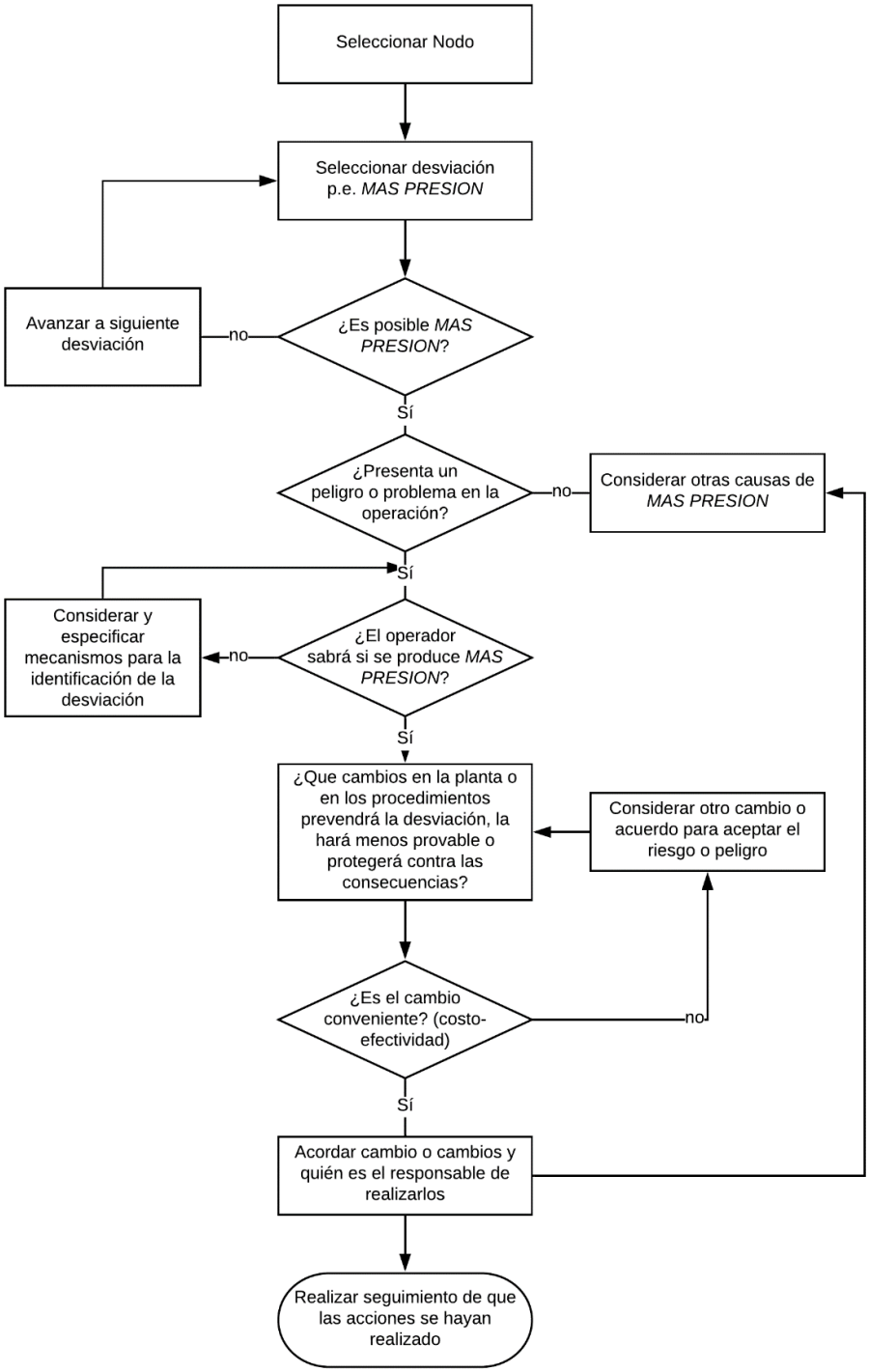


Ilustración 3: Procedimiento HAZOP. Fuente: "HIPAP 8: HAZOP Guidelines" – Traducción propia.

1.3.6 Generación de informe final:

El informe final debe incluir la siguiente información: conclusión

- Esquemas simplificados con la situación y numeración de los nudos de cada subsistema.
- Formatos de recogida de las sesiones con indicación de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo.
- Análisis de los resultados obtenidos. Se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas.
- Listado de las medidas a tomar. Constituye una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios (coste, otras soluciones técnicas, consecuencias en la instalación, etc.) y cuando se disponga de más elementos de decisión.
- Lista de los sucesos iniciadores identificados.

1.4 Principales características.

El método de análisis HAZOP, previa preparación, se realiza en formato taller, juntando a un equipo multidisciplinario de personal de operaciones, ingeniería de diseño, administrativos y prevención entre otros. Este se desarrolla siguiendo una metodología paso a paso claramente definida y se fija en desviaciones del normal funcionamiento de los procesos, además proporciona una lista de acciones o recomendaciones a tomar en cuenta e identifica a la persona o disciplina para avanzar en una dirección.

A continuación, comentamos sus principales características, que diferencian al método Hazop de otros métodos de análisis de riesgos como What-If, Análisis preliminar de riesgos (APR), 5 Porqués, FMEA o Hazap, por nombrar algunos:

1.4.1 Metódico y exhaustivo

El método HAZOP se caracteriza por ser un método sistemático, paso a paso dividiendo el área de estudio en subprocesos y estos a su vez en nudos, analizando cada nudo de manera individual, permitiendo analizar y documentar de forma ordenada los nodos, posibles desviaciones, causas de las desviaciones, las consecuencias proyectadas y las recomendaciones concluidas.

1.4.2 Es una técnica cualitativa

Es decir que este tipo de estudio responde mayormente a realizar una clasificación y valoración de cualidades y supuestos dentro del sistema, en contraste con otros métodos de análisis de riesgo que se centran en datos cuantitativos, como confiabilidad, incidencia de fallas, etc. Esto provoca que en gran medida los resultados dependan de la calidad y capacidad analítica del equipo.

1.4.3 Actividad multidisciplinaria

Las sesiones de trabajo deben típicamente consistir en un equipo de aproximadamente 5 a 8 personas. Los miembros deben poseer un rango de habilidades relevantes para asegurar de que todos los aspectos de proceso y sus operaciones estén abarcadas, Disciplinas de ingeniería administración y área operaciones deben estar representados. permiten una instancia única de comunicación entre las distintas áreas involucradas en el proceso, generando un contraste de distintos puntos de vista y retroalimentación del proceso.

1.4.4 Trabaja sobre supuestos

Al crear un cruce entre distintas posibilidades (palabras guia) y variables se intenta abarcar toda la gama de desviaciones posibles para posteriormente analizar cada caso de manera hipotética, esto genera inevitablemente tanto casos totalmente inviables como casos de real interés que de otra manera difícilmente podrían haber sido visualizados.

1.4.5 Finalidad: Generar Recomendaciones

Como objetivo, el análisis y las sesiones de trabajo, pueden generar alertas, recomendaciones o directamente modificaciones al sistema analizado, las cuales ya han sido estudiadas o al menos analizadas por los distintos involucrados en el proceso logrando anticiparse a cualquier futuro inconveniente y abarcando la mayor cantidad de posibilidades posibles.

1.5 Recursos Necesarios

1.5.1 Información Fiable

Es fundamental para la correcta realización del estudio contar con información precisa y actualizada del proceso a analizar, entre otros:

- Diagramas de flujo.
- Esquemas.
- Especificaciones del material.
- Filosofía de diseño.

1.5.2 Coordinador/ director del grupo.

Se debe designar a un coordinador/director del grupo, experto en HAZOP, y no necesariamente una persona vinculada al proceso. Quien, aunque no es imprescindible que lo conozca en profundidad, si debe estar familiarizado con la ingeniería de proceso en general, donde sus principales funciones son las siguientes:

- Recopilar la información escrita necesaria.
- Planificar el estudio.
- Organizar las sesiones de trabajo.
- Dirigir los debates.
- Cuidar que se aplica correctamente la metodología, evitando la tendencia de proponer soluciones aparentes sin haber analizado suficientemente.
- Recoger los resultados para su presentación.
- Efectuar el seguimiento de aquellas cuestiones surgidas del análisis y que requieren estudios adicionales al margen del grupo.

El grupo debe incluir a personas con un buen conocimiento y experiencia en las diferentes áreas que confluyen en el diseño y explotación de la planta.

1.5.3 Soportes informáticos

Existen también herramientas informáticas que, si bien no son indispensables, permiten sistematizar el análisis y registrar las sesiones de HAZOP de forma directa y ordenada. Entre ellos se pueden citar los siguientes:

- Programa de Du Pont, desarrollado por la compañía Du Pont de Nemours
- HAZSEC, compañía técnica
- HAZOP, de ITSEMAP
- PHAWORKS V1, análisis, preparación de informes de Primatech, USA
- DDM-HAZOP, análisis y preparación de informes de Dyadem, Canadá
- Open PHA, Alternativa gratuita[2] de Kenexis, USA.

En este trabajo se ha optado por utilizar un software estándar de hoja de cálculo para ordenar la información en tablas, lo cual entrega la posibilidad de adaptar de manera más libre el procedimiento al caso de estudio y al enfoque de este trabajo.

1.6 Caso de aplicación tipo.

En el trabajo "Análisis Hazop de la Unidad Regeneradora de Aminas" [9] de 2012 la autora aplica el estudio de riesgos y operabilidad HAZOP para la unidad de Regeneración de Aminas (ARU) a ser construida (en ese entonces) en el Complejo Petroquímico y Refinador en la provincia de Manabí, Ecuador, realizó el análisis a las tuberías y equipos dentro de la ARU, basándose en los P&IDs del tren 1 de la unidad de procesos y continua el estudio según las directrices

[2] No permite la generación del informe final en su versión gratuita.

mencionadas anteriormente. Entre otras cosas se describe en detalle el proceso químico y el método de clasificación de riesgos. Además, se mencionan los miembros del equipo HAZOP: Moderador, Líder de equipo, Ingeniero Ambiental, Ingeniero en Procesos, Ingeniero instrumentación y Control, Ingeniero Eléctrico y un representante del proveedor de la licencia para desarrollo de la unidad.

En particular en la "Unidad de Regeneración de Aminas Tren 1" se generaron 12 recomendaciones de las cuales 11 se realizaron, donde destaca una recomendación que solucionaba un caso de alto nivel de riesgo, además una recomendación fue descartada por considerarse que generaba un riesgo aceptable.

Finalmente, la autora concluye "Los beneficios de la identificación de los riesgos y problemas de operatividad a principios del diseño son evidentes. Con un buen equipo y la preparación adecuada, HAZOP es una técnica eficaz y excelente costo."

2. Hazop aplicado a sistemas mecánicos y automatización.

Las aplicaciones actuales en el área de sistemas mecánicos y más aún en particular en sistemas mecánicos automatizados parecen ser más bien reducidas, encontrándose pocos ejemplos documentados.

2.1 Estado del arte.

En el libro “Hazop and Hazan Identifying and Assessing Process Industry Hazards” de Trevor Kletz [7], el autor menciona de manera casi anecdótica la aplicación de Hazop a problemas mecánicos[3]:

“Por ejemplo, una pila de bandejas debía cargarse dentro de un autoclave de esterilización con una grúa horquilla. La aplicación de la desviación "más de" reveló que si el conductor movía la carga demasiado hacia adelante podría dañar la pared trasera del autoclave. La aplicación de la desviación "así como" reveló que si el conductor elevaba la carga podría dañar un instrumento mide la humedad y quizás también dañar el techo. Del mismo modo, una operación demasiado rápida podría causar derrames y llevó al equipo a preguntarse cómo se manejarían los derrames.”

En particular en el trabajo “Diseño y simulación de un sistema autónomo para el proceso de teñido de prendas tipo jean” [8], los autores realizan un estudio HAZOP a modo de análisis de fallos a su diseño, estudiando desviaciones, sus causas y consecuencias, pero, centrando las conclusiones y recomendaciones a acciones a realizar de manera correctiva, es decir, para realizar una vez que ya esté en funcionamiento el equipo, este enfoque pareciese ser bastante interesante para el desarrollo de sistemas de control automatizado.

---

[3] Traducción propia.

2.2 Consideraciones y limitaciones de HAZOP aplicado.

Los riesgos dentro de cualquier proceso pueden ser incontables, dependiendo de qué tan fino hilemos, con el fin de acotar el estudio y el proceso de análisis es que se definen las siguientes consideraciones y limitaciones.

Consideraciones:

- Se asume que los cálculos estructurales de los equipos están correctos y están contemplados dentro de estos los casos críticos y concentraciones de esfuerzo considerando las respectivas tolerancias dimensionales de deformación de esfuerzos.
- No se consideran las desviaciones provenientes de problemas de control o automatización.
- La selección del equipo multidisciplinario está sujeto a la disponibilidad de los miembros.

Limitaciones:

- Mientras más detallado sea el análisis puede consumir mucho tiempo, y por tanto, sería muy costoso económicamente.
- Un análisis detallado requiere un alto nivel de documentación de las especificaciones del sistema/procesos, equipos y procedimientos.
- El debate se puede centrar sobre asuntos y por ende soluciones detalladas perdiendo perspectiva e ignorando asuntos más amplios o externos.
- El proceso confía plenamente en los conocimientos técnicos de los miembros del grupo de diseñadores, quienes pueden encontrar dificultades para ser suficientemente objetivos en identificar problemas a sus diseños.

Las consideraciones responden al enfoque que se le ha dado al estudio en este caso particular, el cual se centra al análisis de desviaciones referentes al diseño mecánico, es decir, estas podrían variar según el caso, el cual por ejemplo se podría centrar en las características del producto, en reacciones químicas o en el sistema de control y automatización por sobre el sistema mecánico.

2.3 Propuesta de adaptación de la metodología.

Para definir los nudos se ha separado el sistema en 3 subsistemas ya predefinidos como: las líneas 1, 2 y 3, donde la línea 1 y 2 son alimentadoras del producto y la línea 3 es de retiro de los contenedores bin.

En los procesos en que se aplica típicamente la metodología (procesos químicos) el objetivo es generar y mantener ciertas características fisicoquímicas, que de no cumplirse o no estar como debieran, se consideran “Desviaciones”, las cuales tienen causas y consecuencias.

En nuestro caso, el objetivo del sistema automatizado es entregar determinado producto en cierto tiempo y lugar, y en consecuencia al no cumplirse o tener variaciones se considerarán como desviaciones. De manera similar lo referente a concentraciones se analoga a secuencias mecánicas, o lo que fuesen características químicas a características físicas. De esta manera las palabras guías “además de” o “parte de”, generalmente aplicadas a concentraciones o impurezas son perfectamente aplicables a secuencias, distancias o fuerzas.

En cuanto a la aplicación, se propone como primera etapa realizar un análisis previo (por parte de quien dirige el estudio), de las desviaciones y los nodos, apoyado en la información obtenida de la memoria de diseño del proyecto y los planos de la maquinaria a utilizar. Como segunda etapa evaluar las desviaciones que parecen criticas bajo una matriz de riesgo.

Y así, en una etapa final determinar cuáles de estas desviaciones deben ser reevaluadas por el equipo multidisciplinario en las sesiones.

Si bien se advierte que esto podría disminuir la rigurosidad del estudio permitiría disminuir la cantidad de sesiones necesarias enfocándolas en los puntos críticos.

2.4 Criterios de estudio.

Este análisis se realiza bajo las siguientes consideraciones:

- El análisis se realiza sobre la memoria de diseño cód.: P18-056-MD-01 aprobada con fecha 16-05-2019, sin perjuicio de que esta memoria podría ser modificada posteriormente.
- En función del tiempo, se realizará una revisión previa individual de las desviaciones destacando las más importantes para aplicar en las sesiones las cuales se centran en abarcar la mayor cantidad de casos posibles, por sobre la profundidad, dejando la profundidad para las sesiones HAZOP
- En general se deja de lado las desviaciones que se puedan producir dentro de la programación a nivel de software del sistema de control automatizado.

3. Aplicación de Hazop.

Una vez conocido el proyecto y definidos los criterios de estudio se procede a revisar los antecedentes de la empresa y objetivos del proyecto en esta, para poder definir y acotar el área de aplicación del estudio y posteriormente realizar el análisis.

3.1 Aplicación a un proyecto de automatización.

3.1.1 Antecedentes de la empresa.

EccoFeed es la empresa pionera y líder en recolección de excedentes de la industria alimentaria de consumo humano y su transformación en materias primas e insumos para la elaboración de alimento de consumo animal, presentes en el mercado desde el año 2015. Y se concentran en 2 áreas de negocios:

- **EccoFeed Servicios**, Orientado a soluciones en materia de recolección, logística, disposición final, destrucción de marca y valorización de los desechos de sus clientes. Evita que éstos lleguen a los vertederos o rellenos sanitarios y promueve la economía circular.
- **EccoFeed Productos**, cuyo fin es disponer de una variada oferta de productos alimentarios para el consumo animal totalmente reprocesados, nuevos y de gran calidad nutricional, dándole nueva vida a los excedentes alimenticios provenientes de la industria de alimentos para consumo humano.

En sus instalaciones de Buin, Región Metropolitana, EccoFeed cuenta con una planta de producción que procesa descartes de la industria panadera/pastelería convirtiéndolos en alimento energético para ganado. La planta es abastecida con la materia prima por medio de contenedores plásticos (Bins) de 1 [m3] apilados de a 3 transportados por camión, los cuales actualmente son desapilados y trasportados dentro de la planta mediante grúas horquilla y

transportadores de rodillos libres a dos líneas independientes: molienda con envase (línea 1) y molienda sin envase (línea 2).

La alta dependencia y uso de las grúa horquilla y la distribución actual de la maquinaria presentan una dificultad en el abastecimiento continuo de materia prima a los equipos, generan condiciones de riesgo y requieren de una alta dotación de personal.

En este contexto se ha encargado a la empresa externa BMEC Ingeniería SpA el diseño de una línea automática para el manejo de bins, con el objetivo de minimizar la utilización de la grúa horquilla, limitar las tareas del personal a la supervisión de los equipos y disminuir la dotación necesaria para operar la planta.

3.1.2 Objetivos del proyecto de automatización.

El objetivo principal del proyecto consiste en asegurar un flujo continuo de materia prima a las líneas de secado y molienda húmeda, por medio del movimiento mecanizado y automático de bins cargados en la alimentación de cada una de las líneas y posterior apilación de bins vacíos.

El objetivo segundario consiste en disminuir el tránsito de grúa horquilla al interior de la planta, favoreciendo condiciones laborales seguras para los trabajadores y liberando esos equipos para otras funciones.

El objetivo terciario consiste en disminuir la dotación de personal necesaria para la alimentación de las líneas 1 y 2.

3.1.3 Definición del proyecto.

Actualmente el sistema consiste en 2 líneas:

La línea 1 es alimentada por bins que contienen elementos de pastelería y panadería envasada, los cuales son cargados de forma unitaria por la grúa horquilla en los rieles de polines. Cuando ingresa el bin al volteador, el operador de la tolva acciona la electroválvula hidráulica del volteador para descargar progresivamente el bin, además, retira aquellos productos con doble envase. Una vez se completa esta operación, el volteador retorna a su posición inicial y el operario de los rieles cambia el contenedor vacío por otro cargado. El bin vacío es retirado por la grúa horquilla al final de la línea.

La línea 2 alimenta al horno de secado, precedido por un molino de martillos. La línea se alimenta con bins que contienen pan en miga a granel, Posteriormente, el producto pasa por un secador, para continuar hacia la envasadora automática de *maxisacos*. La alimentación de la tolva se realiza mediante la introducción de un bin cargado, con grúa horquilla, directamente en el volteador de bins. Luego, se retira el bin con la misma grúa, para cargar uno nuevo.

Para mejorar la condición operacional actual de la planta, se propone un sistema de alimentación integrado, creando la línea 3 de salida de bins vacíos y sincronizando los volteadores, de manera que se permita una movilización fluida de bins de ambas líneas, de forma simultánea.

Adicionalmente, se propone la instalación de torres apiladoras y desapiladoras de bins en tres niveles, permitiendo cargar en los rieles de polines hasta 3 bins de forma vertical.

Para esto se plantea la utilización de volteadores, apiladores y desapilador de diseño propio con el fin de lograr la mejor coordinación posible en el proceso de automatización del proceso.

El proyecto de mejora considera limitar la operación de grúas horquilla solo en la puerta de acceso norte de la planta, aprovechando el espacio para carga de columnas de bins cargados y retiro de columnas vacías. Esta propuesta, además, aprovecha los espacios, ya que comprime la operación de las tres líneas a un solo sector de la planta, liberando los otros espacios a acopio. Adicionalmente, toda la manipulación de los bins queda próxima a la puerta norte, cercana al lavado de bins, zona de acopio de bins cargados y a la descarga de la línea 1.

En la ilustración 4 se observa la distribución general proyectada de los equipos, después de la implementación del proyecto de mejora.

En la ilustración 5 se presenta una vista isométrica de los equipos y su distribución espacial.

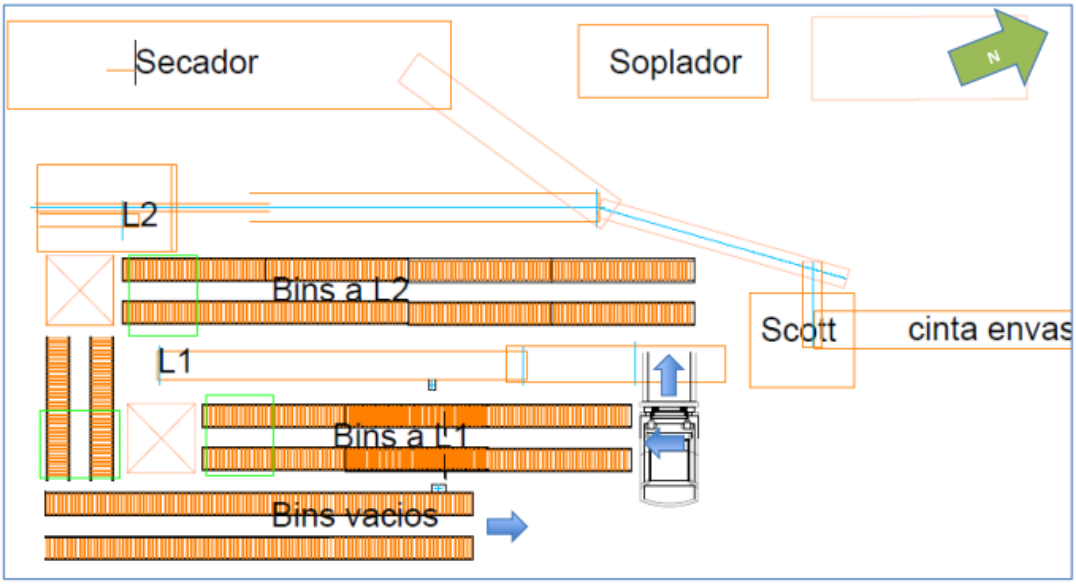


Ilustración 4: Diagrama de disposición de equipos y flujo de líneas. Fuente: BMEC

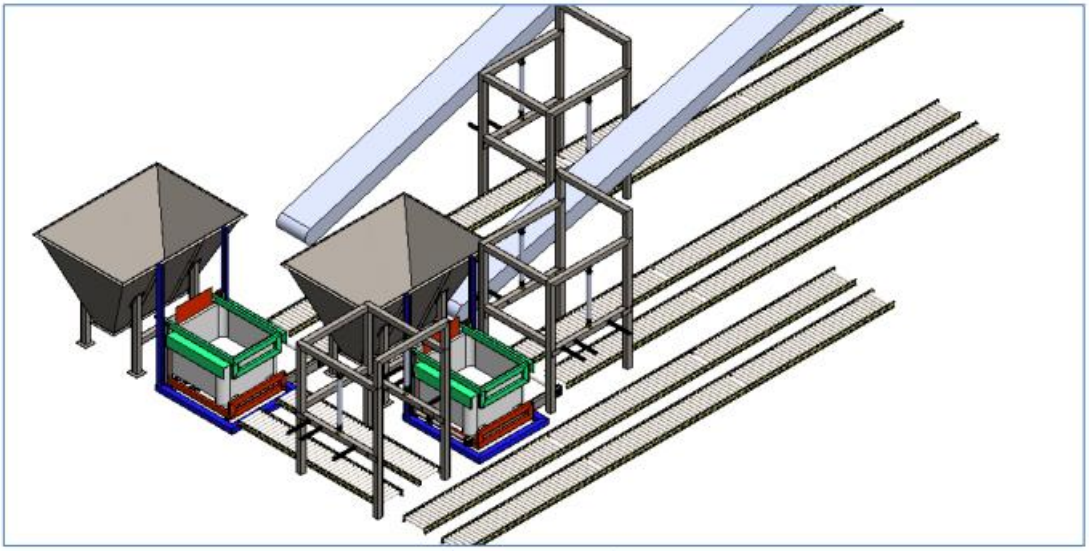


Ilustración 5: Vista isométrica, Disposición proyectada. Fuente: BMEC

3.2 Definición y descripción de área de estudio.

El área de estudio contempla las líneas de descarga de contenedores bins con descartes de la industria panadera pastelera, divididas en Línea 1, Línea 2 y Línea 3, desde el principio de las líneas 1 y 2 como “entradas del sistema”, una vez ya cargadas con contenedores apilados de a 3, hasta los volteadores de bins y final de línea 3 como “salidas del sistema”.

Desde el punto de vista analítico, se contempla el análisis de riesgos de cualquier desviación en la correcta manipulación de los contenedores que podría resultar en problemas como detención del proceso o que impidan el correcto funcionamiento, a su vez se revisan las posibles causas de estas desviaciones, sean de origen mecánica, operacionales o fortuitas.

3.3 Definición de los nodos y variables.

- **Nodos:**

Una vez revisado y definido el área de estudio este se ha ordenado dividiéndolo en las 3 líneas o procesos que conforman el proyecto, estos a su vez se dividen en subprocesos coincidentes con el equipo que se utiliza, y por último de ser necesario se dividen en nodos, sin perjuicio de que algunos subprocesos pueden estar constituidos únicamente de un nodo. Quedan ordenados como se muestra:

A. Línea 1

A.1. Alimentación
A.2. Transporte
A.3. Desapilador
- A.3.1. Alzamiento
- A.3.2. Descenso
- A.3.3. Transportador de cadenas

A.4. Volteador
- A.4.1. Alzamiento
- A.4.2. Descenso

A.5. Tolva

B. Línea 2

B.1. Alimentación
B.2. Transporte
B.3. Desapilador
- *B.3.1. Alzamiento*
- *B.3.2. Descenso*

B.4. Volteador
- *B.4.1. Alzamiento*
- *B.4.2. Descenso*

C. Línea 3

C.1. Transporte
C.2. Apilador
- C.2.1. Alzamiento
- C.2.2. Descenso
- C.2.3. Transportador de cadenas

C.3. Cambio 90°
C.4. Transporte

La línea 2 en este estudio no será analizada, debido a resultar redundante por su similitud con la línea 1.

- **Variables:**

Debido a la naturaleza del caso de estudio (el cual se centra en un proceso mecánico) las variables a considerar se han centrado en posibles cambios en características físicas, descartando desviaciones por ejemplo en presiones o composición química y concentrándonos en las cuales puedan afectar nuestro proceso en particular, como los tiempos, las velocidades y la posición.

Desviación	Significado
Peso	El peso que tiene el bin en ese momento incluyendo la carga.
Tiempo	Tiempo que demora la acción o proceso en realizarse
Velocidad	Velocidad a la que se realiza la acción
Distancia	Distancia que fue trasladado el contenedor.
Posición	Posición del contenedor dentro del proceso.
Flujo	Como flujo de bins
Dirección	Dirección de movimiento
Inclinación	Inclinación del contenedor dentro del equipo.
Secuencia	Secuencia general que sigue el producto dentro de un nodo
Nivel	Visto como nivel de bins apilados

3.4 Palabras guía.

Las palabras guía aplicadas en este estudio son las típicas utilizadas en HAZOP abarcando de manera simple las posibles fluctuaciones en las variables definidas en el punto anterior y se nombran a continuación:

Palabra Guía	Significado
No	Ausencia de la variable a la cual se aplica
Más	Aumento cuantitativo de una variable
Menos	Disminución cuantitativa de una variable
Inverso	Inversión en el sentido de la variable (Efecto contrario)
Además de	Aumento cualitativo de una variable o un componente de esta
Parte de	Disminución cualitativa de una variable o un componente de esta
Diferente de	Actividades distintas respecto a la operación normal

3.5 Definición de las desviaciones a estudiar.

Del cruce de las 7 palabras guía y las 10 variables, resultan 70 combinaciones posibles, a las cuales se le realiza un primer filtro, en el que se descartan las combinaciones que carecen de sentido (p.e. *"Parte de Dirección"*) o que sean redundantes (p.e *"Parte de Inclinación" vs "Menos Inclinación"*), Quedando 37 combinaciones como las desviaciones a plantear en cada nodo.

De la combinación de las 37 combinaciones utilizables con los 12 nodos definidos: da como resultado 444 casos a analizar.

3.6 Análisis sistemático de desviaciones y sesiones HAZOP.

Con el fin de eficientar el proceso de estudio se ha realizado un análisis previo evaluando cada caso, estudiando posibles causas de las desviaciones, proyectando consecuencias y proponiendo comentarios y/o recomendaciones. Esto basado en la información recopilada de la memoria de diseño del proyecto en cuestión y de los planos de los equipos que lo componen, centrando dichas evaluaciones en el sistema mecánico y en la operabilidad.

Este análisis originó un segundo filtro en el cual se descartaron las desviaciones que no tenían lugar dentro del nodo por la naturaleza de éste, como, por ejemplo, los casos en que se aplicaban desviaciones en la inclinación del producto en nodos donde no había inclinación o cambios en la dirección cuando una dirección distinta o contraria era simplemente inviable.

Implicando el análisis de 102 desviaciones en la línea 1 y 67 en la línea 2

Posteriormente cada nodo fue evaluado bajo los 2 criterios utilizados usualmente en las matrices de riesgo, que son la frecuencia con la que ocurriría la desviación o falla, y la gravedad o el nivel de consecuencias de esta desviación, dejando los conflictos mas importantes para ser analizados en las sesiones HAZOP.

Bajo esta lógica se han identificado como puntos importantes 38 de las 102 desviaciones originales en la línea 1 y 28 de 67 en la línea 3

Estas aparecen ordenadas según la línea de procesamiento a la que corresponden en el Anexo 2 y 3: **Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 1** y **Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 3.**

3.7 Resultado del estudio.

Se han identificado los puntos críticos que a priori no cuentan con salvoconductos o protocolos de atenuación de consecuencias y, además, se consideran de alto o muy alto riesgo, por lo que debieron ser reestudiados y reevaluados.

Para estos puntos las recomendaciones que más se repiten se resumen en las siguientes alternativas no excluyentes:

- Agregar sensor o sistema de control extra, con el fin de evitar, la mayoría de las veces, conflictos en las secuencias y el funcionamiento en banda del equipo.
- Agregar sistema de alerta
- Modificación menor, como instalación de tope, cambio en la inclinación.
- Modificación mayor, como instalación de cuña hidráulica adicional
- Evaluar en la puesta en marcha, como simulaciones de los casos específicos.
- Realizar pruebas en vacío.
- Generar protocolos de contención o mantenimiento basado en las posibles causas ya estudiadas.
- Implementar sistemas para calibrar/ajustar el equipo.

Además, estas recomendaciones aparecen identificadas en cada desviación en el Anexo 2 y 3: **Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 1** y **Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 3.**

4. Propuesta de mejora del diseño actual

En este punto nos centraremos en detalle en el nodo **A4.1 Alzamiento y volteado de bin**, el cual forma parte del Subproceso **A.4 Volteador** dentro de la **Línea 1**, este nodo es de particular interés debido a que forma parte del equipo de volteado de contenedores el cual es un componente crítico dentro del proceso y ejemplifica varias de las recomendaciones mencionadas en el punto anterior.

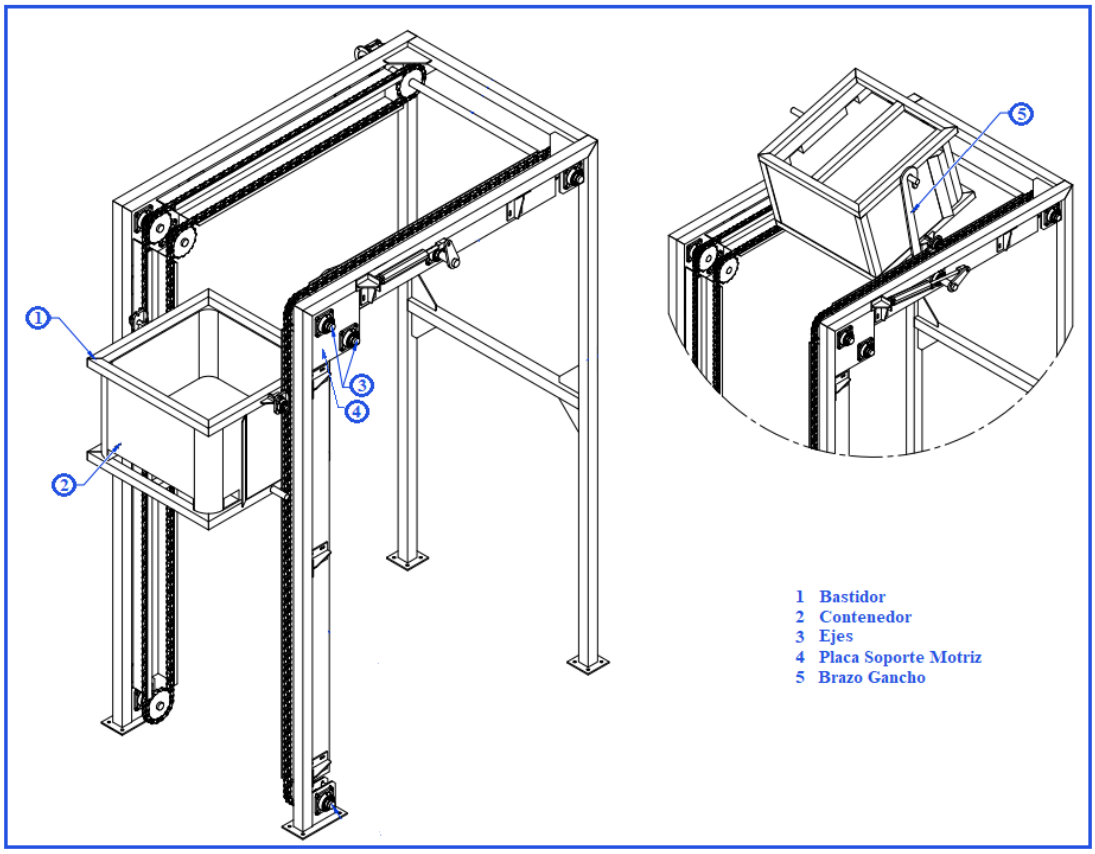


Ilustración 6: Vista Isométrica Sistema Volteador y Bastidor más Bin Volteado. Fuente:BMEC

4.1 Resumen de conflictos

A continuación, se presenta el resumen de las desviaciones de mayor interés dentro del nodo mencionado, además se le integra un semáforo de riesgo:

	Nodo: A4.1 Alzamiento y volteado de bin.		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** A4. Volteador		
	Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	**Riesgo**
1	No	Peso	Contenedor vacío	Error en entrega.	Aumento en velocidad de giro y expulsión del contenedor desde el bastidor.	Verificar si hay un aumento de velocidad con el contenedor vacío. Y realizar pruebas en vacío.	Medio
2			Ausencia de contenedor	Accionamiento accidental	Aumento en velocidad, gasto innecesario de energía.	Esta desviación no se considera de alto riesgo, no obstante, se recomienda realizar pruebas de este caso	Bajo
3	Más	Peso	Bin sobrecargado	Error en entrega.	Posible pandeo en sección vertical de cadenas por el Eje Tope Bastidor, lo que podría producir una traba critica e incluso dañar componentes.	Evaluar escenario y de ser necesario adicionar un par de ruedas dentadas debajo de las ya instaladas para evitar esta posibilidad.	Alto
4	No	Velocidad	El sistema no avanza	Fallo en sistema motriz	Detención completa	Se considera una falla de alta consecuencia, pero de baja probabilidad.	Bajo
5	Más	Velocidad	Se eleva a mayor velocidad de la prevista	Problema con sistema motriz.	Posible colisión y daño en los equipos, al producirse una inercia mayor a la prevista en el volteo.	Realizar pruebas y verificar si hay aumento de velocidad con p.e. menor peso.	Medio
6	Menos	Velocidad	Menor velocidad de la prevista	Disminución en potencia del motor.	Disminución de la producción	-	Bajo
7	No	Distancia	No hay elevación	Problemas con sistema mecánico	Detención completa	Generar árbol de fallas, con especial énfasis a piezas de transmisión de energía, se considera poco probable.	Medio
8	Menos	Distancia	El sistema se eleva a menor altura.	Sobrecarga, trabamiento en ejes de ruedas dentadas.	Detención completa	Estudiar posibles causas de trabamiento	Bajo
9			No completa el recorrido	Accionamiento prematuro de fin de recorrido	Brazo Gancho inicia el volteado sin enganchar con el bastidor, lo que produciría posible giro libre de bastidor.	Realizar pruebas de volteo sin enganche del brazo gancho con el bastidor y de ser necesario la instalar un tope incorporado a la estructura del volteador.	Alto
10	Parte de	Flujo	Se entrega parte del producto.	Un cambio de la composición o mezcla no homogénea	Disminución en la producción y perdida de producto.	Estudiar que tan probable es que esto ocurra.	Bajo
11	No	Inclinación	No se realiza el volteo	Falla con el cilindro de volteo o con sensor de final de carrera.	Volteo incompleto de material, posible detención del proceso.	Se recomienda una alerta en caso de que el sensor de fin de carrera no se accione pasado determinado tiempo, esto acusaría en caso de que el sistema se detuviese.	Alto

Resumen desviaciones nodo A4.1: Alzamiento y volteado de bin.

4.2 Análisis de Casos críticos

Los casos considerados críticos, por ser de mayor riesgo son las desviaciones 3, 9 y 11 correspondientes al cruce “Mas Peso” “Menos Distancia” y “No Inclinación” de nodo *“A4.1 Alzamiento y volteado de bin”* de la línea 1.

En el primer caso “Mas Peso” se asocia al procesamiento de un contenedor sobrecargado, en cuanto a soporte estructural, el diseño del equipo contempla un amplio margen que supera por lejos los 260 kg promedio por bin. Sin embargo, esta desviación ayudó a dilucidar un posible escenario critico muy particular, en este se contempla la posibilidad de un desplazamiento de la cadena, transversal a la dirección de tracción, en el ascenso del bastidor cargado, en particular, en el momento en que el “eje de giro” del bastidor ha pasado de la sección vertical a la horizontal, pero el “eje tope” aun no (como se muestra en la ilustración 7), generando este último, dicho desplazamiento en la cadena, el cual además seria potenciado por la tracción horizontal infligida al bastidor por la cadena.

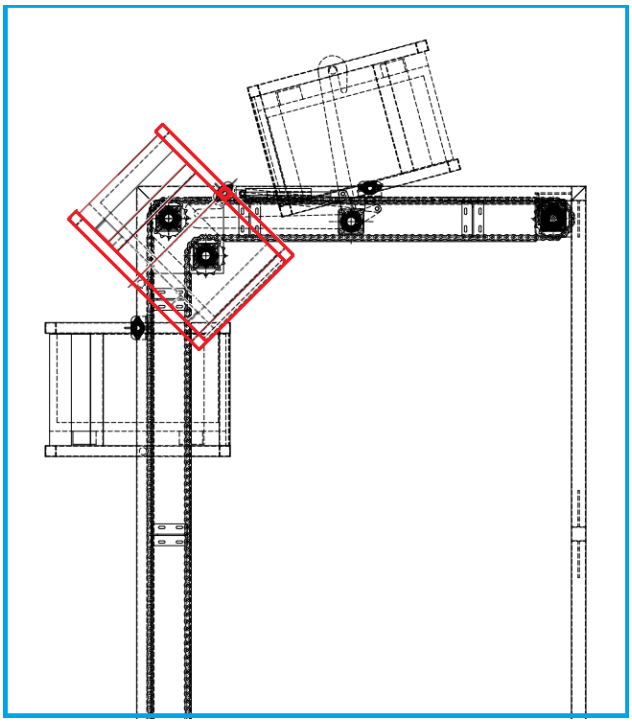


Ilustración 7: Caso Critico 1

Este efecto sería en parte atenuado por las guías de cadenas, pero al largo plazo podría generar desgastes no considerados.

En el segundo caso “Menos distancia” se contempla el escenario en que por distintos motivos se acciona el cilindro y por ende la palanca de volteo antes de que el bastidor llegue a su posición final, por consecuencia estas piezas no se

enganchan y al subir la palanca de volteo podría producir el giro libre del bastidor lo cual trancaría el sistema y la detención de la línea.

Por último, la tercera combinación critica “No Inclinación” (No se realiza el volteo) que contempla varias causas; no se considera muy probable por lo que se recomienda además realizar un estudio más profundo causas, de todas maneras, se incluye en esta lista debido a las altas consecuencias que podría provocar. Un estancamiento de este estilo seria difícilmente manejable, entre otras razones por el difícil acceso por la altura y la forma de transmisión mecánica más bien rígida, esto se une a la criticidad de este equipo, en el cual incluso una pequeña pausa implica una detención total de la línea.

4.3 Propuesta de cambios a realizar

Para el primero de estos casos críticos se propone la incorporación de un par extra de ruedas dentadas debajo de las que están actualmente además de la respectiva ampliación de la Placa soporte correspondiente.

Para el segundo caso se proponen dos alternativas, para empezar, realizar pruebas de volteo sin enganche para cuantificar las posibilidades que esto ocurra y las consecuencias que produciría, por otro lado, y de ser necesario la incorporación de un tope acoplado a la estructura que detenga el giro del bastidor en caso de que este gire de manera libre.

Para el tercer caso se propone la implementación de una alerta en caso de que la acción de volteo tome mucho más tiempo del proyectado, además se estima conveniente un sistema de control manual de emergencia para las cadenas y volteo del equipo volteador, que permita rápidamente resolver problemas relacionados.

5. Conclusiones

Los casos documentados han demostrado que es posible y se está aplicando el método de análisis de riesgo HAZOP a más áreas además de la industria química, permite agregar rigurosidad al trabajo de diseño ingenieril, previniendo potenciales problemas en la puesta en marcha y funcionamiento de sistemas, en general el gran inconveniente es el alto tiempo invertido en el estudio por parte de quienes compondrían el equipo multidisciplinario, además del coste monetario que puede ser fuerte para empresas de diseño más pequeñas, quienes se verían en la necesidad de contratar a una empresa externa de auditoria para realizar el estudio.

5.1 Principales cambios a metodología HAZOP.

El cambio fundamental a como se aplica típicamente la metodología, es el análisis previo de las desviaciones, el cual fue aplicado a los nodos por quien dirige el estudio, discriminando de manera individual que puntos son más o menos importantes.

Las variables aplicadas en este estudio si bien difieren a las comúnmente utilizadas en los análisis de este estilo, responden a la adaptación del método al caso particular de estudio y cubren en gran medida los posibles casos de desviaciones que se buscaban encontrar.

Si bien existen soportes informáticos para la realización de estos análisis, estos principalmente entregan formularios para rellenar y sirven para mantener ordenada la información y generar de manera más automática los informes finales, por lo que si bien pueden ser útiles, no son vitales y no fueron ocupados en este trabajo.

5.2 Resultado de la aplicación de HAZOP

La adaptación del método a procesos mecánicos automatizados es totalmente posible y presenta resultados útiles, cabe mencionar algunas ventajas e inconvenientes que presenta esta forma de aplicación de HAZOP:

Por un lado optimiza el proceso de estudio y análisis, logrando reducir significativamente el número de desviaciones a estudiar en las sesiones multidisciplinarias HAZOP lo cual en términos prácticos reduciría el tiempo utilizado en sesiones desde unos 4 días laborales en los cuales los involucrados no podrían hacer sus deberes normales, a apenas una reunión, además permite que quien dirige el estudio pueda poner más énfasis a los puntos que, en el análisis previo, encontró que podrían ser más importantes.

Paralelamente este cambio a la metodología plantea un gran inconveniente; y es que pone en duda la rigurosidad del estudio en sí; queda a criterio del moderador y su análisis previo el cómo dividir los nodos y cuales desviaciones son las más importantes para llevar al equipo multidisciplinario, pudiendo pasar por alto de manera involuntaria desviaciones que potencialmente podrían ser importantes o incluso críticas.

A modo de comentario se destaca que, si bien este estudio intenta centrarse exclusivamente en el sistema mecánico, dejando de lado las desviaciones relacionadas con el control y automatización, es inevitable que se presenten escenarios en los que se ve involucrado el área de control, lo que destaca la importancia de la definición correcta del área de estudio.

5.3 Potenciales observaciones y desarrollos futuros.

En cuanto a la adaptación del método se considera imperante que el moderador o guía del estudio debe poseer cierto grado de conocimiento sobre las áreas de la ciencia relacionadas al proyecto, en este caso mecánica y automatización. Además, como recomendación para futuros estudios similares se sugiere la realización de una primera sesión previa para definir los criterios generales con los que el guía del estudio definirá los nudos y realizará los análisis previos, con el fin garantizar una mayor rigurosidad.

Como ya comentamos uno de los problemas para la realización de este estudio en empresas de diseño más pequeñas es la alta inversión que esto implica, tanto en el tiempo como en lo económico. Como alternativa de adaptación se propone una metodología similar a la realizada en este estudio, pero incorporando una reunión previa y un soporte informático:

Se propone iniciar el estudio con una reunión previa entre en director del estudio y los miembros involucrados para recopilar la información necesaria y definir lineamientos generales del estudio; como el método de división de nodos o definir variables importantes.

Aprovechando los buenos resultados de la etapa de análisis previo se sugiere como segunda etapa un estudio profundo realizado por el director del estudio, el cual además de los deberes mencionados en el punto 1.5.2 deberá, en base a la información recopilada, delimitar el área de estudio, definir nodos, hacer cruce de palabras guía y variables y evaluar cada desviación en profundidad, todo esto en base a la información recopilada en la primera etapa de reunión previa.

Finalmente. Como tercera etapa se plantea la incorporación de un soporte informático (formularios, software computacional o aplicación móvil), mediante el cual, primero, se le envié a cada miembro de la comisión interdisciplinaria un formulario con preguntas estándar predeterminadas del estilo “que pasa si” que se deben formular en el modelo simplificado de la división por nodos. Los

involucrados, en el formulario deberán solamente calificar con puntaje cada “que pasa si” según el nivel de riesgo que les parece en los parámetros de Frecuencia y nivel de Consecuencias, además de la posibilidad de registrar comentarios. Posteriormente el software se encargaría de discriminar aquellas desviaciones que obtuvieron mayor puntaje para luego ser levantadas a una sesión interdisciplinaria estilo HAZOP para analizar en mayor profundidad las consecuencias y emanar recomendaciones o posibles modificaciones al diseño.

Se considera que, una vez desarrollada la plataforma digital podría ser fácilmente administrada por el jefe proyecto o algún encargado sin la necesidad de una empresa externa o funcionario especialista en el tema. Además de poder ser replicable para cada proyecto de manera considerablemente más económica.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Hazard and operability study. (s.f.) En Wikipedia. Recuperado el 15 de junio de 2019 de https://en.wikipedia.org/wiki/Hazard_and_operability_study

[2] Flixborough Disaster. (s.f.) En Wikipedia. Recuperado el 15 de junio de 2019 de https://en.wikipedia.org/wiki/Flixborough_disaster

[3] Blanca Nuri Cruz (2015). Caso Practico, Prezi. Disponible en: https://prezi.com/4fug6mzgmt3f/caso-practico/

[4] TEFIPRO (Abril 2016) Caso de Estudio: Análisis de Riesgos HAZOP. Disponible en : https://www.tefipro.com/doc/Caso-de-estudio-Analisis-de-Riesgos-HAZOP.pdf

[5] Lisardo Lourido (s.f.). APLICACIÓN DEL MÉTODO HAZOP PARA ANÁLISIS DE RIESGOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES, Scribd. Disponible en: https://es.scribd.com/document/338071227/APLICACION-DE-METODO-HAZOP-EN-INSTALACIONES-ELECTRICAS-INDUSTRIALES-doc

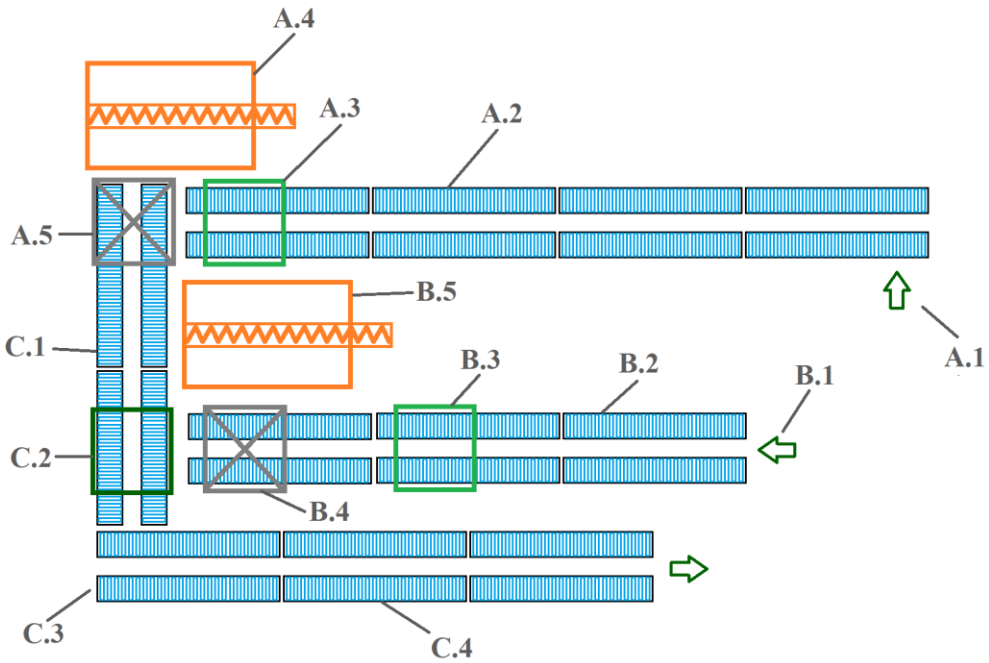
[6] Londoño, J. C. (2012). La metodología Hazop aplicada al estudio de la calidad y la productividad. Disponible en: http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/1177/1064

[7] Trevor Kletz (1999). Hazop and Hazan Identifying and Assessing Process Industry Hazards (4ª. Ed.). IChemE.

[8] Holguín Londoño, M., Uchima Marín, C., & Betancur González, J. (2013). Diseño y simulación de un sistema autónomo para el proceso de teñido de prendas tipo jean. Revista Scientia et technica. Disponible en: http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/8357/5275

[9] Veronica Alexandra Peñaherrera Muñoz (2012) Análisis Hazop de la Unidad Regeneradora de Aminas, USFQ, Disponible en: http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1385

Anexo 1: Diagrama Disposición Equipos.



A. Línea 1

- A.1. Alimentación
- A.2. Transporte
- A.3. Desapilador
  - A.3.1. Alzamiento
  - A.3.2. Descenso
  - A.3.3. Transportador de cadenas
- A.4. Volteador
  - A.4.1. Alzamiento
  - A.4.2. Descenso
- A.5. Tolva

B. Línea 2

- *B.1. Alimentación*
- *B.2. Transporte*
- *B.3. Desapilador*
  - *B.3.1. Alzamiento*
  - *B.3.2. Descenso*
- *B.4. Volteador*
  - *B.4.1. Alzamiento*
  - *B.4.2. Descenso*
- *B.5. Tolva*

C. Línea 3

- C.1. Transporte
- C.2. Apilador
  - C.2.1. Alzamiento
  - C.2.2. Descenso
  - C.2.3. Transportador de cadenas
- C.3. Cambio 90°
- C.4. Transporte

Anexo 2: Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 1

Nodo: A1 Alimentación		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** Alimentación por grúa horquilla		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
No	Velocidad	No hay movimiento de grúa horquilla	Obstrucción en la vía	Tiempos muertos/Disminución en la productividad	Delimitar y marcar el área de trabajo de grúa horquilla, de modo que sea exclusiva.	Bajo
Mas	Velocidad	El proceso se realiza a mayor velocidad del esperado	Mayor experticia del operario o error en el estudio previo	Tiempos muertos de operario y posible sobrecarga del sistema	Reestudiar causas.	Bajo
Menos	Velocidad	Menor velocidad de alimentación de bins	Problemas o falta de experiencia de operario	Disminución de la productividad	Adaptar los tiempos y las secuencias para máximo aprovechamiento de los procesos.	Bajo
Mas	Distancia	Recorrido mayor a lo habitual	Interferencia en el área de trabajo	Menor productividad/retraso en el plan	Se recomienda instalación de barreras de seguridad.	Medio

Nodo: A2 Transporte		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** Transporte por rieles de polines		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
Mas	Peso	Bins cargados con más peso de lo normal	Entrega de producto	Daño en los polines/ presión mayor en la línea, presión mayor en los seguros de Desapilador	Se recomienda considerar este efecto en el cálculo de los seguros de desapilador.	Medio
Menos	Peso	Bin cargado menos de lo normal	Error en entrega	Posiblemente una baja cantidad de bins y con poco peso no entreguen la fuerza suficiente para que la pila de contenedores entre en el desapilador.	Se debe simular en la práctica este caso, y evaluar la instalación de un transportador de cadenas en la entrada de desapilador.	Alto
No	Velocidad	No avanzan los bins en los rieles de polines	Trabamiento de un polín o polines, rotura de rodamientos	Estancamiento de la producción	Contemplar sistema de alerta en caso de estancamiento.	Medio
Mas	Velocidad	Los bins avanzan a mayor velocidad de la estimada	Bins sobrecargados, inclinación de polines demasiado alta.	Posibles colisiones, daño en bins, daño en estructura o daño en tope mecánico	Incorporación de soportes regulables bajo de la línea de transporte por polines, con el fin de poder realizar una regulación en la puesta en marcha del sistema.	Alto
Menos	Nivel	Menor cantidad de bins apilados	Baja producción, error en entrega	Disminución de la productividad, inercia menor a lo previsto, posible disminución de la velocidad y fuerza de llegada a desapilador	Ídem "Menos Peso"	Bajo

Nodo: A3.1 Alzamiento de bin con carga		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** A.3 Desapilador de bins		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
Más	Tiempo	El levantamiento se realiza en mayor tiempo del estipulado	Falla en sistema de bombas, requerimiento hidráulico mal dimensionado/fuga en línea.	Menor productividad, conflicto con secuencia general, estancamiento.	Se recomienda implementar sensor y alerta en caso de que el desapilador se detenga.	Medio
Menos	Tiempo	El levantamiento se realiza en menor tiempo del estipulado	Contenedor con menos carga de la estimada	Mayo velocidad, posible mayor inercia e impacto de piezas.	Se considera poco probable y que las consecuencias son mínimas.	Bajo
No	Distancia	Cilindros neumáticos de levantamiento no avanzan	Falla en sistema de bombas, requerimiento hidráulico mal dimensionado, bins sobrecargados	Detención total del sistema.	Se recomienda implementar sensor y alerta en caso de que el desapilador se detenga.	Medio
Menos	Distancia	El cilindro hidráulico avanza menos distancia de la nominal	Bins sobrecargados, traba en guías, problemas con sistema de bombeo.	Falla critica.	Se recomienda implementar sensor y alerta en caso de que el desapilador se detenga.	Medio
Menos	Flujo	Ingresa una pila de 1 o 2 contenedores	Error en entrega o final de carga	Se realizará una acción innecesaria, en la cual el sistema se accionará en vacío o no se accionará producto de que no se detectará bin	Una alternativa es implementar una baliza que acuse cuando solo queda 1 contenedor en la vía, otra es implementar un sensor que detecte la cantidad de contenedores hay en la pila.	Alto

Diferente de	Dirección	Cilindro baja cuando debe subir	Pérdida total de presión en línea hidráulica	Fallo crítico, posible conflicto con transporte de cadenas	Evaluar sistema de alerta y parada en caso de pérdida de presión.	Medio

Nodo: A3.2 Descenso de bins con carga		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** A.3 Desapilador de bins		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
No	Peso	Bin vacío o ausencia de bin	Error en entrega	Menor velocidad en la bajada de cilindro.	Realizar pruebas en vacío y evaluar control de velocidad.	Medio
			Accionamiento accidental / Mantención	Menor velocidad en la bajada de cilindro.	Realizar pruebas en vacío y evaluar control de velocidad.	Medio
Más	Peso	Bin sobrecargado	Error en entrega	Mayor velocidad en la bajada de cilindro y posible impacto.	Realizar pruebas en y evaluar control de velocidad.	Medio

Nodo: A3.3 Transporte de cadenas		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** A.3 Desapilador de bins		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
No	Peso	Bin vacío o ausencia de bin	Error en entrega	El sistema no logra agarrar el bin y solo lo levanta.	Se recomienda realizar pruebas en vacío.	Alto
			Accionamiento accidental / Mantención	No se acciona nunca el fin de carrera o sensor, por lo que funciona en banda indefinidamente.	Realizar pruebas en vacío y evaluar posible bypass para el caso.	Alto
No	Velocidad	No avanzan el bin	Obstrucción en la vía, no hay espacio para entregar el bin, el transportador de cadenas no engancha.	El sistema funciona en banda, perdiendo energía, posiblemente creando colisiones	Se recomienda instalar un sensor dentro de torre desapiladora, que permita saber si hay un bin para ser transportado por las cadenas, adicionalmente se puede programar una alerta en caso que esta acción tome demasiado tiempo.	Alto
Más	Distancia	En bin se transporta una distancia mayor a la esperada.	Velocidad muy alta o inercia muy alta.	Imposibilita el funcionamiento de volteador de bins	Se recomienda la instalación de un tope que detenga el bin en la posición adecuada dentro de volteador, para evitar que avance mas de lo previsto	Medio

Nodo: A4.1 Alzamiento y volteado de bin.		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** A4. Volteador		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
No	Peso	Contenedor vacío	Error en entrega.	Aumento en velocidad de giro y expulsión del contenedor desde el bastidor.	Verificar si hay un aumento de velocidad con el contenedor vacío. Y realizar pruebas en vacío.	Medio
		Ausencia de contenedor	Accionamiento accidental	Aumento en velocidad, gasto innecesario de energía.	Esta desviación no se considera de alto riesgo, no obstante, se recomienda realizar pruebas de este caso	Bajo
Más	Peso	Bin sobrecargado	Error en entrega.	Posible pandeo en sección vertical de cadenas por el Eje Tope Bastidor cuando el conjunto eje bastidor pase a la sección horizontal de la cadena, lo que podría producir una traba critica e incluso dañar componentes.	Evaluar escenario y de ser necesario adicionar un par de ruedas dentadas debajo de las ya instaladas para evitar esta posibilidad.	Alto
No	Velocidad	El sistema no avanza	Fallo en sistema motriz	Detención completa	Se considera una falla de alta consecuencia, pero de baja probabilidad.	Bajo
Más	Velocidad	Se eleva a mayor velocidad de la prevista	Problema con motor o variador de frecuencia de motor de cadenas.	Posible colisión y daño en los equipos, al producirse una inercia mayor a la prevista en el volteo.	Realizar pruebas y verificar si hay aumento de velocidad con p.e. menor peso.	Medio
Menos	Velocidad	El sistema se eleva a menor velocidad de la prevista	Daño o contaminación en eje conductor, disminución en potencia del motor.	Disminución de la producción	-	Bajo

No	Distancia	No hay elevación	Problemas con sistema mecánico	Detención completa	Generar árbol de fallas, con especial énfasis a piezas de transmisión de energía, se considera poco probable.	Medio
Menos	Distancia	El sistema se eleva a menor altura.	Sobre carga, trabamiento en ejes de ruedas dentadas .	Detención completa	Estudiar posibles causas de trabamiento	Bajo
		No completa el recorrido	Accionamiento prematuro de fin de recorrido	Pieza Brazo Gancho inicia el volteado sin haber enganchado con el bastidor, lo que produciría posible giro libre de bastidor	Se propone realizar pruebas para dimensionar las consecuencias del volteo sin enganche del brazo gancho con el bastidor y de ser necesario la instalación de un tope incorporado a la estructura del volteador.	Alto
Parte de	Flujo	Se entrega parte del producto.	Un cambio de la composición o mezcla no homogénea	Disminución en la producción y perdida de producto.	Estudiar que tan probable es que esto ocurra.	Bajo
No	Inclinación	No se realiza el volteo	Falla con el cilindro de volteo complementario/ falla con el sensor de final de carrera (alzamiento)	Falla critica	Se recomienda una alerta en caso de que el sensor de fin de carrera no se accione pasado determinado tiempo, esto acusaría en caso de que el sistema halla sufrido algún desperfecto o trabamiento.	Alto

Nodo: A4.2 Descenso Volteador		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** A4. Volteador		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
No	Peso	Ausencia de bin	Mantención / Puesta en marcha / Detención / Pruebas	Al no haber bin, el sensor de entrega (hacia L3) no se activará, por lo que el proceso se estancará.	Se recomienda instalar un sensor dentro de volteador, que permita saber si hay un bin para ser volteado, para evitar funcionamiento en banda o que se estanque.	Medio
Menos	Distancia	El proceso se detiene y no alcanza la distancia.	Obstrucción, problema con sistema neumático	Falla critica	NOTA: Asegurarse que el bin fue entregado, no se puede devolver antes de recibir el siguiente	Bajo
Parte de	Secuencia	Comienza descenso sin volver el cilindro de volteo	Falla en cilindro	Disminución en la producción y perdida de producto.	Se recomienda estudiar esta posibilidad y sus consecuencias	Medio

Nodo: A5 Tolva		**Proceso:** Línea 1 (Ingreso pan envasado)		**Subproceso:** A5. Tolva		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	Riesgo
Más	Tiempo	El vaciado de la tolva lleva más tiempo del estipulado	Posible estancamiento de material en tornillo o perdida de potencia / Velocidad de tornillo muy baja.	Disminución en la producción, acumulación de material en tolva	Se recomienda estudiar la velocidad de tornillo sinfín, con el objetivo de evitar acumulación de material u ocupar mas energía de la necesaria.	Medio
No	Flujo	No hay flujo/ el material se a estancado	Estancamiento por aglomeración del material, arching o bridging.	Problema critico. Detención de la producción.	A fin de evitar soluciones "parche" o poco eficientes (Como tener a un trabajador destapando el sistema) se recomienda realizar un estudio de manejo de materiales y evaluar distintos recubrimiento y ángulos en tolva.	Bajo
Menos	Flujo	Hay menos flujo del previsto	Menor velocidad de producción en nodos previos / Contenedores con menos producto	Uso ineficiente de la energía.	Para tener un uso de energía mas eficiente se podría evaluar la posibilidad de instalar un sensor o timer. (Evaluando vs el costo energético de la puesta en marcha)	Medio
No	Nivel	No hay material	Mantención / Puesta en marcha / Detención / Pruebas	Uso ineficiente de la energía.	Para tener un uso de energía mas eficiente se podría evaluar la posibilidad de instalar un sensor o timer. (Evaluando vs el costo energético de la puesta en marcha)	Medio

Anexo 3: Análisis de Riesgo HAZOP: Línea 2

Nodo: C1. Transporte		**Proceso:** Línea 3 (Salida contenedores Vacíos)		**Subproceso:** C1. Transporte		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	**Riesgo**
Más	Tiempo	El proceso toma más tiempo del esperado	Tiempo de apilador demasiado alto.	Estancamiento general del sistema	El apilador se vuelve un nodo crítico, por lo que se debe diseñar de la manera más robusta posible y desarrollar un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad.	Medio
			Los Bins avanzan a baja velocidad por los rieles.	Disminución de la producción, potencial cuello de botella, haciendo que el resto del sistema no funcione al total de su capacidad	Al igual que en las líneas de transporte de Línea 1 y Línea 2 se recomiendan topes regulables en la base de tal manera de poder modificar la pendiente de la línea.	Medio
Menos	Velocidad	Los bins avanzan a menor velocidad de la prevista	Trabamiento de un polín o polines, rotura de rodamientos, inclinación de polines muy baja	Disminución de la productividad / inercia menor a lo previsto, posible disminución de la velocidad y fuerza de llegada a Desapilador	Estudiar la posibilidad de alimentar apilador con transportador de cadenas, esto además podría ayudar a la coordinación de alimentación del apilador por las 2 líneas.	Medio
Parte de	Distancia	No se llega a destino	Muy baja inclinación de línea de polines / Trabamiento de un polín o polines, rotura de rodamientos.	Estancamiento general del proceso	Estudiar el caso en el que no se logre la velocidad mínima para avanzar desde la alimentación de la línea 3. (Quizás esto quedaría compensado al llegar el siguiente contenedor).	Medio
Menos	Flujo	Hay menos flujo de bins de los previstos	Detención de una de las líneas, problema con algún nodo de las líneas	Disminución de la producción	Asegurar el funcionamiento incluso si una de las líneas previas esté detenida.	Bajo

Nodo: C2.1 Alzamiento de bin vacío.		**Proceso:** Línea 3 (Salida contenedores Vacíos)		**Subproceso:** C2. Apilador		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	**Riesgo**
No	Peso	Ausencia de bin	Error en entrega	Uso innecesario de potencia y daño en la estructura o piezas mecánicas	Realizar pruebas en vacío y evaluar posible control de velocidad y fuerza.	Bajo
			Accionamiento accidental / Mantención	Uso innecesario de potencia y daño en la estructura o piezas mecánicas	Realizar pruebas en vacío y evaluar posible control de velocidad y fuerza.	Bajo
Menos	Tiempo	El levantamiento se realiza en menor tiempo del estipulado	Falla en sistema de bombas, requerimiento hidráulico mal dimensionado.	Potencial deño en piezas.	Estudiar una velocidad controlada en cilindros, posiblemente con salida controlada del sistema neumático/hidráulico	Bajo
No	Velocidad	No hay avance	Problema en sistema / Línea esta llena	Estancamiento del sistema	Se recomienda implementar sensor y alerta en caso que el apilador se detenga o línea esta llena.	Medio
Diferente de	Posición	El bin no esta en la posición correcta	Falla en sistema de uñas, bin descuadrado.	Posible trabamiento, el sistema podría o no levantar o levantar con el bin mal puesto, lo que puede provocar derrame de material o peor.	Implementar pestañas a ambos lados en la entrada del equipo apilador.	Alto
Menos	Secuencia	El cilindro principal se contrae a su mínima extensión teniendo 2 bins cargados	Puesta en marcha o mantenimiento.	Daño en contenedores y en equipo	Considerar y estudiar esta posibilidad. Posible solución: Instalar sensor para asegurar cuantos bins hay cargados.	Medio

		El cilindro principal se contrae a su extensión intermedia teniendo 3 bins cargados.	Puesta en marcha o mantenimiento.	Daño en contenedores y en equipo	Considerar y estudiar esta posibilidad. Posible solución: Instalar sensor para asegurar cuantos bins hay cargados	Medio
Menos	Nivel	Hay menos de 3 bins apilados	Puesta en marcha, pruebas o mantenimiento.	Gasto innecesario de energía, perdida de tiempo, posible deño de equipos debido a funcionamiento en vacío.	Evaluar crear protocolo o secuencia para estos casos. (P.E Cuando se deba expulsar los contenedores con solo 1 o 2 contenedores en el apilador).	Medio

Nota: Se recomienda reanalizar las causas y consecuencias de las desviaciones de este nodo en conjunto con el área de control y automatización, en particular las desviaciones 6, 7 y 8. Posteriormente evaluar la posibilidad de instalar un sensor extra para confirmar la cantidad de contenedores cargados.

Nodo: C2.2 Descenso		**Proceso:** Línea 3 (Salida contenedores Vacíos)		**Subproceso:** C2. Apilador		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	**Riesgo**
No	Peso	Ausencia de bin	Mantención / Puesta en marcha / Error automatización	Se apilarán solo 1 o 2 bins	Derivar esta desviación a área de automatización. Evaluar este caso y contrastar con la programación del sistema automático.	Bajo
Más	Tiempo	La acción se realiza en mayor tiempo de lo estudiado	Falla en sistema de bombas, vía de evacuación tapada.	Disminución de la productividad	Evaluar sistema de alerta en caso de pérdida o aumento excesivo de presión, (Redundante, sistema de mantención ya lo considera)	Medio
Menos	Tiempo	La acción se realiza en menor tiempo de lo estudiado	Falla en sistema de bombas, requerimiento hidráulico mal dimensionado o fuga.	Posible aumento de la velocidad y fuerza de llegada a fin de recorrido	Evaluar sistema de alerta en caso de pérdida o aumento excesivo de presión. (Redundante, sistema de mantención ya lo considera)	Bajo

Más	Distancia	El cilindro avanza/intenta avanzar mas distancia de la estimada	Fallo o error con sensores, imprecisión.	Compresión y daño en contenedores o daño en fijaciones de estructura.	A priori se considera poco probable, de todas maneras de deja como alternativa la instalación de 2 pares de mini topes móviles de accionamiento electromecánico.	Medio
Más	Secuencia	El cilindro principal se expande a su máxima extensión para tomar el segundo bin cargando ya 2 bins.	Puesta en marcha, pruebas o mantenimiento.	Falla critica.	Derivar esta desviación a área de automatización. Evaluar este caso y contrastar con la programación del sistema automático.	Bajo

Nodo: C2.3 Transporte de cadenas		**Proceso:** Línea 3 (Salida contenedores Vacíos)		**Subproceso:** C2. Apilador		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	**Riesgo**
No	Peso	Ausencia de bin/ no hay anclaje	Desgaste en pieza de agarre o en contenedor	El sistema no logra agarrar el bin y solo lo levanta.	Se recomienda realizar pruebas en vacío.	Alto
			Accionamiento accidental / Mantención	No se acciona nunca el fin de carrera o sensor, por o que funciona en banda indefinidamente	Realizar pruebas en vacío y evaluar posible bypass para el caso.	Alto
No	Velocidad	No avanzan el bin	Traba en el trasportador o falla mecánica	Falla critica	Se recomienda instalar un sensor dentro de torre desapiladora, que permita saber si hay un bin para ser transportado por las cadenas y otro que asegure que la acción se realizó.	Medio
			No hay espacio para entregar	Detención y posible colisión	Revisar velocidades y estudiar posible colisión	Medio
			El transportador no engancha en contenedor	El sistema funciona en banda	Se recomienda instalar un sensor dentro de torre desapiladora, que permita saber si hay un bin para ser transportado por las cadenas y otro que asegure que la acción se realizó.	Medio
Más	Distancia	En bin se transporta una distancia mayor a la esperada.	Falta de tope o de sensor de fin de carrera, velocidad muy alta o inercia muy alta.	Imposibilita el funcionamiento de volteador de bins	Se recomienda la instalación de un tope que detenga el bin en la posición adecuada dentro de volteador, para evitar que avance mas de lo previsto	Medio

Nota: Este nodo resulta casi idéntico al C3.3.

Nodo: C3 Cambio 90°		**Proceso:** Línea 3 (Salida contenedores Vacíos)		**Subproceso:** C3 Cambio 90°		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	**Riesgo**
Más	Velocidad	Los contenedores avanzan a mayor velocidad de lo previsto	Demasiada inclinación en polines	Posible colisión o salida de contenedores de las vías.	Se recomienda estudiar la inclinación de los polines.	Medio
Más	Flujo	Hay más flujo de contenedores de lo previsto	Aumento en la productividad de la planta.	Posible colisión de contenedores.	Evaluar la posibilidad de que esta acción se realice con un transportador de cadenas, además de la implementación de un sensor que verifique que la línea de transporte C4 no se encuentra llena.	Alto

Nodo: C4 Transporte		**Proceso:** Línea 3 (Salida contenedores Vacíos)		**Subproceso:** C4 Transporte		
Palabra Guía	**Variable**	**Desviación**	**Causas**	**Consecuencias**	**Comentarios y Recomendaciones**	**Riesgo**
Diferente de	Posición	Los contenedores salen de la línea de transporte	Los contenedores quedan mal posicionados al llegar desde nodo anterior	Estancamiento de la producción	Estudiar la posibilidad de colocar topes en la transición de del nodo C3 a C4.	Medio
Más	Flujo	Hay mayor producción de la prevista	Aumento en la producción	Estancamiento, la frecuencia/velocidad de retiro de las pilas de bins es insuficiente	Estudiar si el margen de espacio en línea de transporte y frecuencia de retiro es suficiente	Bajo