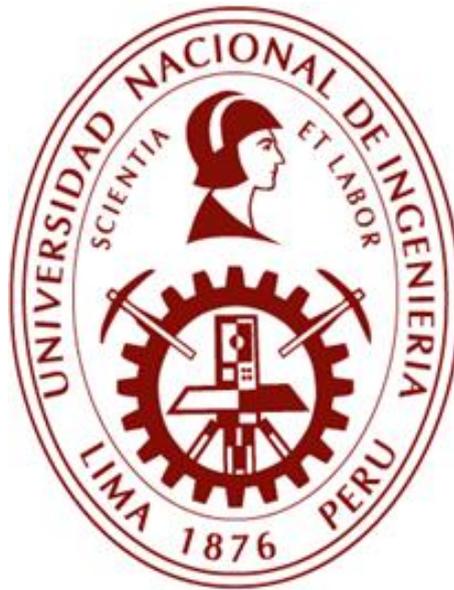


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“ANÁLISIS DE PELIGROS EN PLANTA DE
TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL
AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ
MEDIANTE METODOLOGÍA HAZOP”.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

PRESENTADO POR:

Renzo Daniel Gamarra Minaya

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres, quienes me enseñaron que la mejor herencia es el conocimiento y que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

Lo dedico también a todas aquellas personas que se encuentran en el camino de elaboración de su propio trabajo de investigación, espero puedan encontrar guía en alguna página de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi universidad, gracias por haberme permitido formarme en ella, gracias a todos los profesionales que fueron partícipes de diferentes maneras y que gracias a sus aportes me ayudaron a concretar la presente investigación.

A mis padres, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

De manera especial a mi asesor de tesis, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino también en desarrollo de mi vida universitaria.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general analizar los peligros en la planta de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (AIJC) mediante la metodología HAZOP, planteándose como hipótesis: las medidas que se apliquen correctamente y que fueron resultado del análisis bajo la metodología HAZOP disminuirá el riesgo asociado a los peligros en la planta de tratamiento de residuos sólidos del AIJC. Ahora bien, La cantidad de nodos obtenida para el tratamiento de residuos sólidos del AIJC fue de 23 nodos, siendo el sistema de suministro de agua, ablandamiento y solución de lejía el mayor con un total de nueve; la cantidad de parámetros identificados en el tratamiento de residuos sólidos del AIJC fue de 28, siendo el sistema de caldera y distribución de vapor el que obtuvo la mayor cantidad de parámetros identificado con 10; en el tratamiento de residuos sólidos del AIJC los peligros que tienen un nivel de riesgo intolerables son seis, los que tienen un nivel de riesgo indeseable son ocho, lo que tiene un riesgo aceptable con control son 10 y los que tienen un nivel de riesgo razonablemente aceptable son 4; se estima que las recomendaciones basadas en la metodología lograran disminuir los riesgos intolerables a cero, los riesgos indeseables a tres. Se concluye estas diferencias entre los riesgos antes y después de las recomendaciones es significativa estadísticamente, debido a que se obtuvo un valor de significancia igual a 0.000.

Palabras claves: Peligro, riesgo, HAZOP, Intolerable, indeseable.

ABSTRACT

The general objective of this research work was to analyze the hazards in the solid waste treatment plant at Jorge Chavez International Airport (AIJC) using HAZOP methodology. The hypothesis was: the measures that are correctly applied and that were the result of the analysis under HAZOP methodology will reduce the risk associated with the hazards in the AIJC's solid waste treatment plant. Now, the amount of nodes obtained for the treatment of solid waste of the AIJC was 23 nodes, being the system of water supply, softening and bleach solution the biggest with a total of nine; the amount of parameters identified in the treatment of solid waste of the AIJC was 28, being the system of boiler and steam distribution the one that obtained the biggest amount of parameters identified with 10; In the AIJC's solid waste treatment, the hazards that have an intolerable risk level are six, those that have an undesirable risk level are eight, those that have an acceptable risk level with control are 10 and those that have a reasonably acceptable risk level are 4; it is estimated that the recommendations based on the methodology will manage to reduce the intolerable risks to zero, the undesirable risks to three. It is concluded that these differences between the risks before and after the recommendations are statistically significant, because a value of significance equal to 0.000 was obtained.

Keywords: Danger, risk, HAZOP, Intolerable, undesirable.

PROLOGO

Un evento no deseado, ya sea las consecuencias de un desastre natural, un accidente industrial, una falla de una máquina o equipo, pueden ser interpretados en una amplia escala, desde la incomodidad hasta lo más grave. Este evento puede poner en peligro la vida humana, el medio ambiente natural y puede ocasionar daños materiales. Por otro lado, en la evaluación del riesgo es importante poder distinguir entre peligro y riesgo. En caso de peligro natural las consecuencias pueden ser inundaciones, terremotos, contaminación ambiental, normalmente se evalúa la posibilidad de que ocurra el evento. Mientras que, en el análisis de riesgos se debe tener en cuenta todos los factores (posibles eventos) que conducen a un evento indeseable, tomando en cuenta la probabilidad de que ocurran.

Una de las herramientas empleadas para la identificación de peligros y evaluación de riesgo es la metodología HAZOP, la cual es un estudio estructurado y sistemático de un producto, proceso, procedimiento o sistema. Es un instrumento preventivo que puede ayudar a identificar los peligros y riesgos para las personas, el equipo y los objetivos del medio ambiente. Este proceso es una metodología cualitativa basada en el uso de palabras guía. El HAZOP se desarrolló para analizar sistemas de procesos químicos, pero se ha extendido a otros tipos de sistemas y situaciones complejas.

Es por esto que, en la presente investigación se empleó la metodología HAZOP para analizar los peligros en planta de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

La estructura de la presente investigación comprende seis capítulos:

En el primer capítulo se desarrolló lo correspondiente a las generalidades del estudio, antecedentes, la problemática, la justificación, los objetivos correspondientes de investigación, las hipótesis y la identificación de las variables.

En el segundo capítulo, corresponde al fundamento teórico que comprende los puntos referentes a las teorías especializadas, las bases teóricas relacionadas con el tema, el marco conceptual y legal.

En el tercer capítulo se explica la metodología de investigación sobre el cual se desarrolla la presente investigación.

En el cuarto capítulo se efectuó el desarrollo de la investigación, donde se estableció las generalidades de la aplicación de la metodología HAZOP, se estableció el equipo de trabajo y de determinaron la cantidad de nodos para cada uno de los procesos evaluados.

En el quinto capítulo, se efectuó los resultados comprendiendo tanto el análisis de estos como la prueba de hipótesis, acorde con los datos obtenidos de la aplicación de la metodología HAZOP.

Finalmente, en el sexto capítulo se mencionan las conclusiones a la que se llegaron tras la realización del trabajo de investigación y se ofrecen recomendaciones para futuras investigaciones.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Generalidades	15
1.2. Antecedentes	16
1.2.1. Histórico	16
1.2.2. De la investigación	19
1.3. Problemática	23
1.4. Justificación.....	27
1.5. Objetivos	28
1.5.1. Objetivo General.....	28
1.5.2. Objetivos Específicos	28
1.6. Hipótesis.....	28
1.6.1. Hipótesis general.....	28
1.6.2. Hipótesis específica.....	29
1.7. Variables.....	29
1.7.1. Variables independientes	29
1.7.2. Variable dependiente.....	29
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y LEGAL	30
2.1. Análisis de riesgos	30
2.2. Metodología HAZOP	31
2.2.1. Equipo multidisciplinario	31
2.3. Residuos sólidos.....	32
2.3.1. Tecnologías para la segregación de los desechos sólidos	33
2.3.2. Proceso térmico para el tratamiento de residuos sólidos (pirolisis)	35
2.4. Tratamiento de residuos sólidos.....	36
2.4.1. Suministro de suministro de agua	37
2.4.2. Sistema de drenaje y desagüe	39
2.4.3. Sistema de caldera y distribución de vapor	39
2.4.4. Sistema de combustible GLP	40

2.4.5. Sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos	41
2.4.6. Sistema mecánico de manejo de residuos, volteadores, trituradores, faja transportadora, carritos y lavado	42
2.4.6. Sistema eléctrico, iluminación, puesta a tierra y telecomunicaciones.....	43
2.5 Marco legal	44
2.5.1. Constitución política del Perú - 1993	44
2.5.2 Ley general del ambiente. Ley N° 28611	44
2.5.3. Ley general de salud. Ley N° 26842	45
2.5.4. Decreto legislativo N° 1278. Ley de gestión integral de los residuos sólidos.....	45
2.5.5. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo DS N°005-2012 TR.....	46
2.5.6. Resolución ministerial N° 403-2018-MINAM. Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales	46
2.5.7. International Standard IEC 61882:2016.....	46
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	48
3.1. Proceso HAZOP	48
CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE METODOLOGÍA.....	58
4.1. Generalidades	58
4.2. Equipo de trabajo HAZOP (Hazard and Operability).....	59
4.3. Determinar la cantidad de nodos a analizar en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.	60
4.3.1. Sistema de suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía.	61
4.3.2. Sistema de caldera y distribución de vapor.....	69
4.3.2.1. <i>Proceso Operativo de la Caldera de Vapor</i>	70
4.3.3. Sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos.	72
4.3.4. Sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora.....	74
CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	78
5.1. Selección de los parámetros por procesos	78
5.1.1. Identificación de parámetros del sistema de suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía	78
5.1.2. Identificación de parámetros del sistema de caldera y distribución de vapor	82
5.1.3. Identificación de parámetros del sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos	85

5.1.4. Identificación de parámetros del sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora	88
5.2. Selección de las palabras guías y las posibles desviaciones en cada nodo en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.....	91
5.2.1. Desviaciones de los nodos del sistema de suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía.	91
5.2.2. Desviaciones de los nodos del sistema de caldera y distribución de vapor.	92
5.2.3. Desviaciones de los nodos del sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos.....	93
5.2.4. Desviaciones de los nodos del sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora	93
5.3. Determinación de los peligros en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.....	96
5.4. Recomendaciones de posibles salvaguardas HAZOP basadas en la metodología para disminuir significativamente los riesgos analizados.....	106
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
6.1. Conclusiones	116
6.2. Recomendaciones	117
REFERENCIAS.....	118
Anexos.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mejora en la infraestructura del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez	16
Tabla 2. Cantidad de residuos sólidos generados por año en el AIJC.	25
Tabla 3. Palabras guía básicas y sus significados genéricos.....	52
Tabla 4. Matriz de riesgos utilizada en el análisis del HAZOP.....	54
Tabla 5. Clasificación cualitativa de la probabilidad	55
Tabla 6. Clasificación de la gravedad.	55
Tabla 7. Matriz de riesgo	56
Tabla 8. Tipo de residuos	58
Tabla 9. Residuos sólidos generados en el AIJC.....	59
Tabla 10. Equipo HAZOP del AIJC para el año 2020.....	60
Tabla 11. Nodos identificados en el proceso operativo del suministro de agua..	63
Tabla 12. Nodos identificados en el proceso operativo de ablandamiento de agua.	67
Tabla 13. Nodos identificados en el proceso operativo suministro de solución de lejía.....	69
Tabla 14. Nodos identificados en el proceso del Sistema de Caldera y Distribución de Vapor.	72
Tabla 15. Nodos identificados en el proceso del Sistema autoclave.	73
Tabla 16. Volteador Mecánico de Carro a Carro.....	74
Tabla 17. Volteador Mecánico de Carro a Triturador	75
Tabla 18. Triturador	75
Tabla 19. Faja Transportadora.....	76
Tabla 20. Nodos identificados en el proceso del Sistema Mecánico de Manejo de Residuos.	76
Tabla 21. Nodos de los procesos de tratamiento de residuos sólidos del AIJC..	76
Tabla 22. Parámetros seleccionados para cada nodo en el Sistema de Suministro de Agua.	78
Tabla 23. Parámetros seleccionados para cada nodo en el proceso operativo de ablandamiento.	80
Tabla 24. Parámetros seleccionados para cada nodo proceso operativo del suministro de solución de lejía.	81

Tabla 25. Parámetros seleccionados para cada nodo del sistema de caldera y distribución de vapor.....	82
Tabla 26. Parámetros seleccionados para cada nodo del Sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos.	85
Tabla 27. Parámetros seleccionados para cada nodo del proceso del sistema mecánico de manejo de residuos.	88
Tabla 28. Nodos de los procesos de tratamiento de residuos sólidos del AIJC..	89
Tabla 29. Desviaciones obtenidas de los nodos del sistema de suministro de agua.	91
Tabla 30. Desviaciones obtenidas de los nodos del proceso operativo de ablandamiento.	91
Tabla 31. Desviaciones obtenidas de los nodos del proceso operativo del suministro de solución de lejía.	92
Tabla 32. Desviaciones obtenidas de los nodos sistema de caldera y distribución de vapor	92
Tabla 33. Desviaciones obtenidas de los nodos del sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos.....	93
Tabla 34. Desviaciones obtenidas de los nodos del sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora.	93
Tabla 35. Palabras guías empleadas para la detección de desviaciones.....	94
Tabla 36. Evaluación de los peligros en los procesos del tratamiento de residuos sólidos	96
Tabla 37. Resumen de la cantidad de riesgo determinado para el tratamiento de residuos sólidos del AIJC.....	106
Tabla 38. Recomendaciones para la disminución de los riesgos analizados ...	107
Tabla 39. Resumen de la cantidad de riesgo estimados después de la implementación de las recomendaciones propuestas.....	113
Tabla 40. Prueba de normalidad.....	114
Tabla 41. Rangos de la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo para la hipótesis	115
Tabla 42. Prueba de Wilcoxon para la contrastación de la hipótesis.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de principios del proceso de evaluación de riesgos y aceptabilidad.	31
Figura 2. Procedimiento de estudio del HAZOP.....	49
Figura 3. Diagrama de flujo de los procedimientos de evaluación del HAZOP... ..	51
Figura 4. Matriz de riesgo.	57
Figura 5. Suministro de suministro de agua Ablandamiento, Solución de Lejía. 38	
Figura 6. Diagrama de Flujo del Sistema de Vapor.....	39
Figura 7. Diagrama de Flujo del Sistema de Combustible GLP.....	40
Figura 8. Diagrama de Flujo del Sistema de Autoclavado.....	41
Figura 9. Esquema de distribución del sistema mecánico de manejo de residuos.	42
Figura 10. Funcionamiento del tanque hidroneumático.....	62
Figura 11. Operaciones del proceso del ablandador.....	66
Figura 12. Proceso de suministro de solución de lejía	68
Figura 13. Ubicación del sistema de vapor.	71
Figura 14. Interfases del sistema de autoclavado.	73
Figura 15. Nodos identificados en los procesos del tratamiento de residuos sólidos del AIJC.....	77
Figura 16. Intención de diseño para el nodo de inicio de ciclo.	79
Figura 17. Intención de diseño para el nodo llenado de tanque.	79
Figura 18. Intención de diseño para el nodo descarga.....	79
Figura 19. Intención de diseño para el nodo ablandador.....	80
Figura 20. Intención de diseño para el nodo llenado de tanque.	80
Figura 21. Intención de diseño para el nodo descarga.....	81
Figura 22. Intención de diseño para el nodo tanque de almacenamiento.....	81
Figura 23. Intención de diseño para el nodo circuito de llenado.....	82
Figura 24. Intención de diseño para el nodo descarga.....	82
Figura 25. Intención de diseño para el nodo interior de la caldera.	83
Figura 26. Intención de diseño para el nodo alimentación de agua a calentar. ..	83
Figura 27. Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de combustible GLP.	84
Figura 28. Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de aire.	84

Figura 29. Intención de diseño para el nodo de línea de distribución de vapor. .	85
Figura 30. Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de aire.	85
Figura 31. Intención de diseño para el nodo de vacío.	86
Figura 32. Intención de diseño para el nodo alimentación de vapor.	86
Figura 33. Intención de diseño para el nodo de esterilización.	87
Figura 34. Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de aire para enfriado.	87
Figura 35. Intención de diseño para el nodo de Inyección del líquido desodorizador.	88
Figura 36. Intención de diseño para el nodo de alimentación hidráulica.	88
Figura 37. Intención de diseño para el nodo capacidad.	89
Figura 38. Intención de diseño para el nodo de esterilización.	89
Figura 39. Parámetros identificados en los procesos del tratamiento de residuos sólidos del AIJC.	90
Figura 40. Periodicidad de las palabras claves empleadas para la detección de desviaciones.	94

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (AIJC) se inauguró hace 55 años, en diciembre de 1965. Ubicado en la Provincia Constitucional del Callao, representa mucho más que un terminal aéreo: se trata de la puerta del Perú, la conexión de del país con el mundo. Actualmente, se encuentra bajo la administración de la empresa Lima Airport Partners S.R.L. (LAP).

Hasta el año 2019, el AIJC cuenta con un área de operaciones de 2.51 millones de m², que comprende una pista de aterrizaje de 3,508 m de largo, una plataforma de operaciones de 402,600 m², 60 posiciones de estacionamiento de aeronaves (PEAs), un terminal de pasajeros de 90,150 m² de área techada, 44 salas de embarque, 19 puentes de abordaje y 142 *counters* para el proceso del *check-in* de pasajeros.

Luego de años de espera, y tras recibir los terrenos por parte del Estado peruano, en el 2019 se iniciaron los primeros trabajos de remediación ambiental en toda el área del Proyecto de Ampliación, continuando de manera paralela con el desarrollo de la ingeniería conceptual, y el diseño del Lado Aire y Lado Tierra.

Ahora bien, el compromiso con la seguridad integral por parte de la empresa LAP, ha originado una serie de medidas para la prevención de riesgos en seguridad y salud de los colaboradores, con el propósito de reducir la posibilidad de accidentes en los puestos de trabajo y las enfermedades ocupacionales. De la misma manera, sensibilizar continuamente a los trabajadores en cuanto a la toma de conciencia de riesgos a todo nivel y reconociendo su participación en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SGSSO) (LAP, 2020).

De acuerdo con LAP (2020) el cumplimiento de las políticas de seguridad y salud ocupacional (SSO) se encuentra distribuido en cuatro niveles:

1. La organización se ha alineado y certificado a la norma OHSAS 18001.
2. Se han elaborado manuales operativos, procedimientos e instructivos en los que se definen responsabilidades y describiendo los controles aplicables frente a peligros y riesgos ocupacionales.
3. Se cuenta con instructivos de SGSSO y otros documentos referidos a una actividad de carácter específico.
4. Se cuentan con los formatos y registros especificados en el SGSSO, que dejan evidencia de la ejecución de controles definidos para la reducción de riesgos ocupacionales.

Durante el 2019 se logró reducir los accidentes ocupacionales más recurrentes en un 20.5%, reportados por el personal y contratistas. Estos accidentes fueron las caídas a un nivel más bajo, caídas a un mismo nivel y golpes por objeto. También, se logró un impacto positivo por medio de las campañas de prevención y salud. Por medio de encuestas dirigidas a los colaboradores, el 90% comprendió los mensajes impartidos en las campañas (LAP, 2020).

1.2. Antecedentes

1.2.1. Histórico

El AIJC es el más importante aeropuerto del país, constituido como el principal punto de entrada de pasajeros al Perú y eje articulador de todo el sistema de carga nacional e internacional, desde febrero de 2001 la empresa LAP recibió la concesión por parte del Estado Peruano para la construcción, mejora, operación, explotación y mantenimiento del aeropuerto, desde entonces ha realizado numerosas mejoras en su infraestructura, la cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. *Mejora en la infraestructura del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez*

	2001	2014	2015
Área del terminal (m ²)	39,467	86,600	86,600
Área de plataforma ¹ (m ²)	165,000	373,792	360,000
Número de posiciones de estacionamiento	18	51	54

de aeronaves			
Número de puentes de abordaje	0	19	19
Número de fajas de recojo de equipaje de vuelos internacionales	3	6	6
Posiciones de migraciones en salidas internacionales	12	24	24

Fuente: LAP (2015). ¹ La plataforma se refiere a aquella zona del aeropuerto en la que los aviones son estacionados, descargados y cargados.

Por otro lado, el concepto de un estudio HAZOP surgió por primera vez con el objetivo de identificar los posibles peligros presentes en las instalaciones que manejan materiales altamente peligrosos. El propósito era eliminar cualquier fuente que diera lugar a accidentes graves, como emisiones tóxicas, explosiones e incendios. Sin embargo, a lo largo de los años, la aplicación del HAZOP se extendió fácilmente a otros tipos de instalaciones debido a su éxito en la identificación no sólo de los peligros, sino también de los problemas operacionales (Dunjó, Fthenakis, Vilchez y Arnaldos, 2010). Así, el HAZOP fue adoptado para sistemas de diagnóstico médico (Chudleigh, 1994, como se citó en Dunjó et al., 2010), medidas de seguridad vial (Jagtman et al., 2005, como se citó en Dunjó et al., 2010), y análisis de peligros en instalaciones fotovoltaicas (Fthenakis y Trammell, 2003, como se citó en Dunjó et al., 2010), entre otros. Esta diversidad de usos ilustra cómo el HAZOP se ha considerado una técnica poderosa para mejorar muchos tipos de sistemas (Dunjó et al., 2010).

Los estudios sobre el HAZOP evolucionaron a partir de la técnica de "Examen Crítico" de las Industrias Químicas Imperiales formulada a mediados de los años sesenta. Una década más tarde, el HAZOP se publicó formalmente como un procedimiento disciplinado para identificar las desviaciones de la intención del diseño. Lawley en 1974 definió y delineó los principios necesarios para llevar a cabo estudios de operabilidad y análisis de riesgos debido a la creciente complejidad de los nuevos procesos que no podían examinarse a fondo utilizando los enfoques entonces convencionales basados en prácticas orientadas al

equipo. De hecho, el requisito de contar con métodos de examen orientados a los procesos fue la razón de la generación del HAZOP. En el documento de Lawley se define la planificación, la ejecución y el tratamiento del estudio de operabilidad. Lawley en el año 1976, especificó los principios técnicos - y de gestión - que subyacen a los estudios de HAZOP, y detallaba los factores que había que tener en cuenta para desarrollar el HAZOP con éxito. La planificación del estudio, las habilidades de los el procedimiento de estudio, la evaluación de los posibles problemas, y el proceso de consideración de los cambios propuestos en las unidades analizadas se establecieron cuidadosamente. Además, dio nuevos ejemplos del estudio para ilustrar cómo funcionaba el HAZOP. La Asociación de Industrias Químicas del Reino Unido en 1977 publicó la primera de la guía del HAZOP, como técnica utilizada en las industrias de procesos para identificar los peligros y planificar las medidas de seguridad (Dunjó et al., 2010).

En los 30 años transcurridos desde entonces, han aparecido muchas otras directrices y libros. Entre las importantes contribuciones sobre la adaptación de la tecnología para la industria de procesamiento están las de Knowlton en 1981, Nolan en 1994, Kletz desde 1993 hasta 2001, Lees; Wells en 1996, entre otros. Esta plétora de publicaciones ilustra la evolución del HAZOP como una técnica vital aplicada en todo el mundo que está reconocida por la legislación, y ha demostrado su eficacia en la identificación de los peligros ambientales, de seguridad y de salud. Knowlton fue el primer autor que desarrolló un libro centrado únicamente en las aplicaciones de HAZOP, dando información valiosa sobre el proceso creativo para generar desviaciones; Nolan compartió su experiencia práctica discutiendo temas específicos para las técnicas de HAZOP. Ambas metodologías están completamente descritas. El libro también introduce herramientas para la estimación de tiempo y costos de HAZOP. El documento pretende ser una guía típica y un libro de referencia para ser aplicado en instalaciones petrolíferas, petroquímicas y químicas, describiendo la naturaleza, las responsabilidades, los métodos y la documentación requerida en la realización de tales revisiones. Kletz,

considerado uno de los autores más influyentes en varios temas de seguridad de procesos, escribió un excelente libro definiendo en términos técnicos el HAZOP y, al mismo tiempo, compartiendo su experiencia y pensamientos con un característico estilo personal entretenido. Lees y Wells contribuyeron con sus conceptos de desarrollo de HAZOP, y extendieron su enfoque a una amplia gama de aspectos de la identificación de peligros y la prevención de pérdidas. En 2000, el Centro Europeo de Seguridad de Procesos formuló nuevas directrices sobre el HAZOP adaptando la metodología a la aparición de nuevas tecnologías y compartiendo su considerable experiencia en el uso más eficaz de la técnica. Por último, La IEC 61882:2001, publicada en 2001, estableció y definió nuevos requisitos para llevar a cabo un HAZOP, señalando así claramente su continua importancia como la técnica más utilizada en las plantas de procesamiento y otros tipos de instalaciones. Luego, Macdonald en 2004 actualizó el campo en su libro con los últimos datos sobre las características del HAZOP, documentando cómo llevar a cabo un HAZOP y conectarlo con futuros estudios centrados en asignaciones de Nivel de Integridad de la Seguridad (SIL). El documento se concentra en la aplicación de los métodos de estudio de peligros y las acciones que se derivan de ellos para proporcionar protección contra los peligros. Además, el libro proporciona capacitación en tres pasos básicos (es decir, la identificación de los peligros, la evaluación de los riesgos y la especificación de las medidas de reducción de los riesgos) que forman parte del marco general de gestión de riesgos para las instalaciones de procesamiento (Dunjó et al., 2010).

1.2.2. De la investigación

1.2.2.1. Antecedentes internacionales

Sarbassov et al. (2020), desarrollaron una investigación titulada "Municipal solid waste management and greenhouse gas emissions at international airports: A case study of Astana International Airport" la cual tuvo como objetivo realizar un análisis compositivo de los residuos sólidos municipales producidos en el Aeropuerto Internacional de Astana

y evaluar la gestión de los diferentes residuos escenarios en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. La metodología empleada fue un modelo basado en un método simplificado de evaluación del ciclo de vida (LCA) utilizado para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero. En este estudio se propusieron cuatro escenarios básicos de emisiones de gases de efecto invernadero, a saber, el escenario-1 que describe el actual caso de gestión de desechos sólidos municipales, el escenario-2 con la integración del 29% de reciclaje y el 71% de los vertederos de desechos sólidos municipales, el escenario-3 para el 100% de los desechos sólidos municipales del aeropuerto que se incineran y el escenario-4 para el reciclaje del 29% y el resto de los desechos que se procesan con fines de recuperación de energía. El escenario propuesto 2 demostró una reducción significativa de las emisiones netas de gases de efecto invernadero (t CO₂ eq/año) con respecto al escenario existente 1, mientras que los escenarios 3 y 4 mostraron emisiones netas negativas de gases de efecto invernadero.

Vargas (2019) ejecutó la "Determinación de riesgos de accidentes mayores a través del análisis de peligros y operatividad (HAZOP) en el área de destilación de una planta de alcohol", la cual tuvo como propósito fue describir las probables debilidades en materia de seguridad de una planta productora de alcohol etílico. La metodología empleada fue cualitativo y descriptivo, asimismo se conformó un equipo de cuatro técnicos liderado por un externo experto en estudios HAZOP. Como resultado se obtuvieron 6 nodos, de los cuales el nodo 6 tiene el mayor porcentaje de riesgos altos (RA) igual a 41% debido a la ausencia repentina de suministros como energía eléctrica, vapor y aire, el riesgo aumenta a pesar de las salvaguardas existentes. Se concluye que se requiere la aplicación de 36 recomendaciones, de las cuales 6 son de tipo administrativo, 7 de controles operativos y 23 de controles de ingeniería y que forman parte del programa de gestión de riesgo.

Peña y Navarro (2017), efectuaron una investigación denominada "Manejo de los residuos sólidos en el municipio de Piedecuesta -

Santander, un análisis desde la gestión del riesgo”, el cual tuvo como finalidad de valorar los riesgos ambientales del plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) en el municipio de Piedecuesta – Santander, con el fin de prevenir posibles afectaciones al ambiente, la sociedad y a la salud de la comunidad. La metodología empleada para el tipo de investigación fue descriptiva, no experimental y se enfocó en un estudio de caso; empleando los métodos cuantitativos y cualitativos. Las variables serán identificados y seleccionados de los criterios definidos de la legislación nacional vigente, y en la gestión del riesgo ambiental en estudio. Entre los hallazgos obtenido se encontró que para el tratamiento de residuos sólidos tiene 4 actividades con riesgo bajo, 9 con riesgo moderado y 2 con riesgo alto de acuerdo a la clasificación de riesgo de la normativa colombiana. También se encontró que el proceso de tratamiento de residuos sólidos tiene 2 riesgo residual bajo y 1 riesgo residual moderado, para los cuales se aplicaron 3 controles. Se concluye que la no aplicación del enfoque de riesgos en la elaboración de los PGIRS genera que se presenten impactos negativos sobre el ambiente e incidentes en la operación de los procesos, conducentes a problemáticas ambientales, sociales, operativas, legales y financieras.

1.2.2.2. Antecedentes nacionales

Robles (2018), efectuó un trabajo de investigación denominado “Aplicación del método HAZOP (Hazard and Operability), para la disminución de riesgos de operatividad, en el GRUPO ITALTACONES EIRL. 2018”, el cual tuvo como finalidad aplicar la metodología HAZOP (Hazard and Operability), para disminuir los riesgos de operatividad en el GRUPO ITALTACONES E.I.R.L., 2018. La metodología empleada fue el método deductivo, con una investigación de tipo experimental. Se aplicó una muestra constituida por 17 tareas del proceso productivo de la empresa. Se obtuvo como hallazgos 17 nodos a analizar, 73 parámetros y 75 palabras guías como materia de estudio, revelando que el 73% de los riesgos son graves, 27% serios y no hay riesgos leves. Las acciones HAZOP fueron aplicadas mediante controles operativos, retornando la

valoración del riesgo se obtuvo una reducción del riesgo grave a 4%, los riesgos serios se ubicaron en un 80% y los riesgos leves alcanzó un 16%. Se concluye que la metodología HAZOP logró la reducción de los riesgos operativos en el Grupo Italtacones.

Villegas (2017) realizó una investigación denominada "Evaluación de riesgos en la operación de una planta de tratamiento de agua de producción para pozos inyectores", el cual tuvo como fin evaluar los riesgos asociados durante las actividades de operación de una Planta de tratamiento de Agua. La metodología empleada fue la HAZOP para estudiar el riesgo de las actividades de operación de las infraestructuras de la Ampliación de las Facilidades de Producción del Lote I para la Reinyección del Agua de Producción (CPF). Como resultados se obtuvo se obtuvieron 6 nodos los cuales fueron analizados, para las cuales se plantearon 144 recomendaciones. Se concluye que el análisis HAZOP, permite identificar circunstancias que conllevan a efectuar cambios en el proceso y permiten la mejora de la operatividad de la planta.

Juárez (2015), efectuó un trabajo denominado "Análisis e identificación de riesgos de operabilidad en una batería de producción, mediante la aplicación de la metodología HAZOP", el cual tuvo como finalidad analizar e identificar todos los posibles riesgos de operatividad que se encuentran dentro de una batería de producción BJJJA. La metodología empleada fue por medio de la aplicación del HAZOP la cual consiste en una herramienta para la identificación semicuantitativa y mitigación de riesgos en la planta de proceso. Entre el hallazgo obtenido se tiene que la aplicación de la metodología HAZOP permite identificar posibles escenarios de riesgos razonados asociados con accidentes leves, los cuales pueden ser prevenidos mediante la implementación de controles adicionales a los ya establecidos. Se concluye que, en la identificación de las causas y escenarios peligrosos de sistemas electrónicos programables, se podrían introducir mejoras en la búsqueda de las posibles causas de fallos de los dispositivos de control.

1.3. Problemática

En la actualidad se ha informado que las emisiones de la aviación representan más del 2% de las emisiones mundiales de CO₂ y se prevé que las emisiones de CO₂ (Mt) proyectadas de la aviación internacional aumenten a más del triple para 2050 en comparación con 2018 (ICAO, 2016). Es por ello que al principio de la década del 2010 los aeropuertos internacionales suelen estar diseñados con la eficiencia operativa y económica como prioridades (Boons et al., 2010 como se citó en Sarbassov et al., 2020).

Así pues, los aeropuertos internacionales que funcionan bien se evalúan normalmente mediante indicadores como el rendimiento financiero, el número de vuelos y el tráfico de pasajeros. En algunos países como los Estados Unidos, la Administración Federal de Aviación (FAA) y otras autoridades locales pueden aplicar reglamentos especiales para los aeropuertos, aunque normalmente estos reglamentos son de alcance limitado. Sólo en los últimos decenios la industria de la aviación ha comenzado a considerar el rendimiento de la sostenibilidad, introduciendo gradualmente los aspectos de la gestión ambiental y la responsabilidad social como cuestiones importantes (Monsalud, Ho, Rakas, 2015).

La política de gestión de desechos recomendada por el Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI) consiste en desviar los desechos sólidos que se eliminan en los vertederos (ACI Policy Handbook, 2018). Esto se expresa en la jerarquía de gestión de residuos: evitar la generación de residuos, reducir, reutilizar, reciclar y finalmente eliminar la menor cantidad posible. En términos generales, el objetivo de la gestión de los desechos es reducir la cantidad de residuos que se generan y su costo de eliminación. Típicamente, los aeropuertos generan residuos sólidos peligrosos y no peligrosos que deben ser reciclados, utilizados para energía recuperación, o eliminados en los vertederos. Las corrientes de desechos típicas generadas en los aeropuertos según el Organización de Aviación Civil Internacional son: residuos sólidos urbanos (terminal, inquilino, aerolínea, residuos de carga), construcción y demolición residuos (C&D), residuos biodegradables y compostables y residuos peligrosos y residuos industriales (US Federal Aviation Administration, 2013, como se citó en Sarbassov et al., 2020).

Según Baxter, Srisaeng y Wild (2018), Las actividades y operaciones emprendidas en el Aeropuerto Internacional de Kansai generan más de 10,000 toneladas (Tn) de desechos generales cada año. Las principales fuentes de estos residuos son los aviones, los centros de restauración de los vuelos y los edificios de la terminal del aeropuerto. Los desechos generados por las aerolíneas en El Aeropuerto Internacional de Kansai (Japón) representan el 20% del total residuos del aeropuerto.

La gestión de desechos en los aeropuertos es una de las cuestiones ambientales críticas que requieren más atención. A pesar del rápido crecimiento de la aviación en los aeropuertos, en general se presta menos atención a la gestión de desechos sólidos en comparación con el ruido, las emisiones de las aeronaves y el consumo de agua (Li et al., 2003; Pitt y Smith, 2003; Carvalho et al., 2013 como se citó en Sarbassov et al., 2020). Las salidas no reguladas de recursos y desechos en los aeropuertos están relacionadas con las emisiones de dióxido de carbono. Por lo tanto, las negociaciones públicas sobre las emisiones y los límites conexos pueden lograrse localmente como objetivos de capacidad ambiental. Como resultado, los límites ambientales alcanzados localmente han funcionado como límites de capacidad y objetivos para los aeropuertos (Upham et al., 2003 como se citó en Sarbassov et al., 2020).

Ahora bien, en Latinoamérica, específicamente en Colombia la incineración es la única alternativa de tratamiento para los Residuos Provenientes de Vuelos Internacionales -RVI según la normativa actual vigente Decreto 1601 de 1984 expedida por el Ministerio de Salud al igual que lo establece el Decreto 1071 de 2015 del Ministerio de Agricultura. Un total de diez (10) Aeropuertos Internacionales operan en el país mencionado, ubicados en diferentes departamentos; uno de los más grandes es el Aeropuerto Internacional el Dorado Luis Carlos Galán Sarmiento ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., donde operan 30 aerolíneas de pasajeros, más 25 aerolíneas de carga, (ODINSA - Empresa de concesiones del Grupo Argos, 2018, como se citó en Fajardo y Ferrucho, 2019). Asimismo, se efectuaron un aproximado de 800 vuelos y se movilizaron un promedio de 32,7 millones de pasajeros para el año 2017 según los informes Índices de Calidad Ambiental – ICA realizado por

OPAIN S.A., además se presentó ante la Autoridad de Licencias Ambientales ANLA, que el Dorado generó en promedio entre 68,7 a 71,5 Tn de residuos sólidos provenientes de vuelos internacionales mensualmente y se generaron de 2,29 a 2,38 Tn diarias en la operación en el Aeropuerto Internacional El Dorado en el mismo año. Las cuales por disposición normativa son incineradas (El Dorado, 2018; OPAIN S.A., 2017 como se citó en Fajardo y Ferrucho, 2019).

De acuerdo con la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC S.A.) (2020) el Perú cuenta con un total de 14 aeropuertos o aeródromo internacionales, en diferentes ciudades como Lima, Arequipa, Cusco, Chiclayo, Puerto Maldonado, Tacna, Trujillo, entre otros. Entre todos los aeropuertos internacionales movilizaron hasta abril de 2020 un total de 2'571,488 de pasajeros, mientras que para el año 2019 se movilizaron 12'364,831 de pasajeros (CORPAC S.A., 2019). Cabe destacar que por el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez de la ciudad (AIJC) desde Lima se movilizaron el 98,54% de los pasajeros para el año 2019 y 97,54% de los pasajeros para el año 2020 (CORPAC S.A., 2019; CORPAC S.A., 2020).

En el caso del AIJC es administrado por la empresa Lima Airport Partners S.R.L. (LAP), la cual se adjudicó el Contrato de Concesión con el Estado Peruano para la construcción, mejora, conservación y explotación del AIJC, situado en la Provincia Constitucional del Callao, Perú. Sus operaciones iniciaron desde el 2001 y se extiende por un plazo de vigencia de 40 años (LAP, 2020). De acuerdo con LAP el AIJC, ha venido en aumento la cantidad de pasajeros que se movilizan desde 18.85 a 23.62 millones de pasajeros entre los años 2016 y 2019, este gran volumen de pasajeros genera una gran cantidad de residuos sólidos, los cuales se especifican en la tabla 2.

Tabla 2. Cantidad de residuos sólidos generados por año en el AIJC.

Tipo de residuos (Tn)		2017	2018	2019
No peligrosos	No recuperable	2,553.24	2,798.37	2,785.32
	Recuperable	412.15	465.34	546.05

Peligrosos	Nacionales	362.35	392.52	387.71
	Vuelos internacionales	987.54	947.83	892.72
Total		4,315.28	4,604.06	4,611.8

Fuente: LAP (2020).

Por generarse esa gran cantidad de residuos sólidos, LAP tiene como meta mantener la tasa de reciclaje como mínimo en 15%. Para el año 2019, se logró incrementar la tasa de reciclaje en residuos no peligrosos de 14.26% a 16.32%, equivalente a 80 toneladas de residuos tratados en la planta del AIJC y que no fueron trasladados al relleno sanitario (LAP, 2020). Este proceso de tratamiento de residuos sólidos está constituido por diferentes sistemas que permiten cumplir con las etapas de recepción, segregación, esterilización y retiro de los residuos sólidos para su disposición final. Por esta razón este proceso se ha convertido en uno crítico debido a que si alguna de sus etapas presenta fallas esto pondrá en peligro a los pasajeros, empleados y al medio ambiente del aeropuerto, afectando la continuidad del negocio de los clientes comerciales.

Entre las actividades descritas previamente del proceso de tratamiento de residuos sólidos se observan riesgos operacionales como fugas de Tanque de GLP que pueden provocar incendios y/o explosiones, fugas de radiación térmica, fallas en el sistema eléctrico, entre otras; si estas no son controladas podrían generar efectos adversos a los trabajadores, equipos, empresas y comunidades aledañas, así como el medio ambiente.

Por todo lo mencionado surge el siguiente problema general de investigación: ¿Cuáles serán los peligros en la planta de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez mediante la metodología HAZOP? Asimismo, este problema se puede subdividir en los siguientes problemas específicos:

1. ¿Cuál será la cantidad de nodos a analizar en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez?

2. ¿Cuál será la valoración de las desviaciones y posibles consecuencias en cada nodo en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez?
3. ¿Cuáles serán los peligros en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez?
4. ¿De qué manera las recomendaciones de posibles salvaguardas HAZOP basadas en la metodología disminuirá significativamente los riesgos analizados?

1.4. Justificación

Se puede afirmar que este trabajo de investigación tiene como justificación, desde la perspectiva teórica, pues contribuye a mejorar el entendimiento sobre las variables investigadas, por una parte, permite asimilar los compendios necesario para el análisis de peligro de procesos basado en la metodología HAZOP, por la otra, discernir los criterios del tratamiento de residuos sólidos del AIJC. Asimismo, esta investigación será un instrumento de ayuda en el proceso de enseñanza-aprendizaje en materia de ingeniería de higiene y seguridad industrial. Igualmente, constituye un aporte teórico para investigaciones desarrolladas en materia de higiene y seguridad industrial para el análisis de peligro basado en la metodología HAZOP, pues si bien, este tema ha sido abordado en diferentes procesos, todavía existen aspectos que ameritan discusión, como en el caso del proceso de tratamiento de residuos sólidos en aeropuerto internacional, por lo tanto, los hallazgos del presente estudio, pueden contribuir con la discusión académica que sostiene la ciencia de la ingeniería de higiene y seguridad industrial.

Asimismo, desde la perspectiva práctica, se justifica debido a que el AIJC posee unas instalaciones que son utilizadas por millones de personas que se movilizan desde el extranjero hacia el Perú o viceversa con diversos propósitos: negocios, turismo, deportivos, culturales, entre otros, los cuales en su transitar son generadores de residuos sólidos, estos deben ser tratados en un proceso donde se realizan actividades que son propensas a fallas y que pueden originar un alto peligro a los pasajeros, trabajadores, residentes de zonas cercanas y al medio

ambiente circundante del aeropuerto. Por lo tanto, estos peligros deben ser analizados para poder controlarlos y reducirlos.

Desde la perspectiva metodológica, constituye un aporte a ser tomado en cuenta para futuras investigaciones en otros aeropuertos del país y del mundo, estos aportes generarán nuevas soluciones frente a los peligros en el tratamiento de residuos sólidos del sector que permitan asegurar la calidad de vida y brindar un ambiente laboral más seguro a los trabajadores.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Analizar los peligros en la planta de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez mediante la metodología HAZOP.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la cantidad de nodos a analizar en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.
2. Seleccionar las palabras guías y las posibles desviaciones en cada nodo en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.
3. Determinar los peligros en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.
4. Proponer recomendaciones de posibles salvaguardas HAZOP basadas en la metodología para disminuir significativamente los riesgos analizados.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Las medidas que se apliquen correctamente y que fueron resultado del análisis bajo la metodología HAZOP disminuirá el riesgo asociado a los peligros en la planta de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez

1.6.2. Hipótesis específica

1. La cantidad de nodos a analizar en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez será alta.
2. Las desviaciones tendrán consecuencias en cada nodo en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.
3. Los peligros en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez serán graves y serios.
4. Las recomendaciones de posibles salvaguardas basadas en la metodología HAZOP disminuirá significativamente los riesgos analizados.

1.7. Variables

1.7.1. Variables independientes

Análisis de riesgos: Según la norma IEC 61882 (2016) un análisis de riesgo operacional o HAZOP (por su sigla en inglés) es un proceso que debe ser desarrollado por un grupo de personas que se oriente a la identificación de los peligros y problemas de operabilidad. Estos estudios tienen la finalidad de identificar las posibles desviaciones del propósito del diseño, el estudio de sus causas y la evaluación de las consecuencias que pueden originar.

1.7.2. Variable dependiente

Tratamiento de residuos sólidos: Es el proceso que tiene como propósito la transformación de las particularidades físicas, químicas o biológicas de los residuos sólidos, disminuyendo o eliminando su posible peligro de ocasionar daños a la salud y el ambiente. Asimismo, admite el reaprovechamiento los residuos, lo que posibilita la disposición final de manera eficiente, segura y sanitaria (OEFA, 2014).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y LEGAL

2.1. Análisis de riesgos

El análisis de riesgos se define como el uso de la información disponible para identificar los peligros y estimar el riesgo (International Electrotechnical Commission (IEC) 61882: 2016, 2016). Permite identificar las fuentes de peligro que pueden estar causando daños a los seres humanos, los bienes o el medio ambiente, y nos permite poner de relieve las barreras de seguridad (para la prevención o la protección). Consecuentemente, la estimación de sus riesgos con el fin de jerarquizarlos y juzgar su aceptabilidad en base a diferentes criterios como por ejemplo la matriz de riesgo que define estos criterios (los diferentes niveles de riesgo). La evaluación del riesgo se refiere a un procedimiento basado en el riesgo para decidir si se cumple el riesgo tolerable y la definición de los criterios de aceptabilidad del riesgo es un paso en el proceso de gestión del riesgo. Por último, la reducción del riesgo significa: todas las medidas adoptadas para reducir la probabilidad (con medidas preventivas) o la gravedad del daño (con medidas de protección) asociado a un peligro concreto. (Hade, Negrou, Ayuso, Djebabra, & Ramadan, 2019) El análisis de riesgos es un proceso sistemático que se describe esquemáticamente en la figura 1.

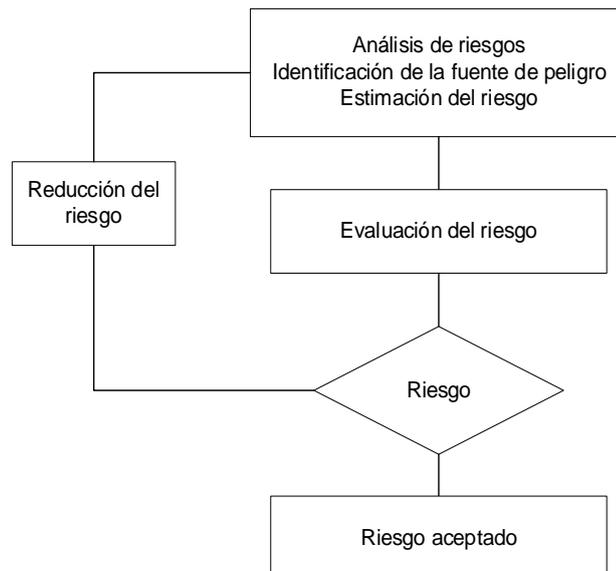


Figura 1. Diagrama de principios del proceso de evaluación de riesgos y aceptabilidad. Fuente: Adaptado de Hade et al. (2019).

2.2. Metodología HAZOP

La metodología Hazop puede definirse como un análisis de proceso estructurado y sistemático, que puede aplicarse en las primeras etapas del proyecto, como la concepción y los pasos básicos hasta las etapas de operación y pos operación. Esta metodología se utiliza ampliamente en la industria de procesos para identificar y evaluar las fallas que pueden dar lugar a posibles peligros para el personal y el equipo que participan en el proceso, así como a fallas que impiden una operación eficiente o son responsables de operaciones anormales (Herrera, Luna, Da Costa y Lemes, 2018).

Asimismo, de acuerdo con la Norma Internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 61882-2016, 2016), la técnica HAZOP es normalmente un método estructurado de equipo para identificar peligros, causas contribuyentes y problemas de operabilidad en plantas y procedimientos, destinado a estimular la imaginación de los participantes de manera sistemática para identificar peligros y problemas de operabilidad. El proceso HAZOP consta de cuatro pasos básicos: definición, preparación, examen y documentación y seguimiento. La ejecución de este método se basa en el uso de palabras guía (como, no, más, menos) combinadas con parámetros de proceso que tienen por objeto revelar las desviaciones de la intención del diseño. Una vez determinadas las desviaciones, el equipo de expertos explora sus causas factibles y sus posibles consecuencias. Los expertos multidisciplinarios deben examinar si las medidas de seguridad son suficientes, y si esas medidas son insuficientes, deberían proponer otras adicionales (Ahn y Chang, 2016, cómo se citó en Zou, Kuang, Tang, Guo y Xu, 2018).

2.2.1. Equipo multidisciplinario

La realización de un estudio preciso de Hazop requiere varios estudios técnicos documentos e información sobre procesos específicos. Después de la

recopilación de datos, un equipo multidisciplinario tiene la responsabilidad para analizar y diseñar documentos de operaciones, como Piping y Diagramas de instrumentación (P&ID), Diagramas de flujo de procesos (PFD), diagramas de flujo de materiales y manuales de operación (entre otros) describiendo el sistema en estudio (Herrera et al., 2018).

En función del alcance y la profundidad del análisis, un equipo básico multidisciplinario de estudio de Hazop debe considerar: a) un jefe de estudio, responsable de definir el alcance del análisis, definir el equipo de especialistas en Hazop, planificar y dirigir las reuniones de Hazop. b) director de proyecto, responsable del diseño de un programa de Hazop, reservar las reuniones, analizar los documentos y elaborar el informe de Hazop, seguir las acciones y supervisar las mediciones de control. c) ingeniero de procesos, especialista en procesos a cargo del proceso en estudio; d) ingeniero de instrumentos; e) ingeniero de operación o de puesta en marcha. Por lo tanto, el equipo multidisciplinario debe tener el conocimiento específico del proceso y ser capaz de realizar la identificación de posibles desviaciones. Este grupo también debería ser capaz de definir las causas y consecuencias de todas las posibles desviaciones de un funcionamiento normal que pudieran surgir en una unidad de la planta y proponer acciones destinadas a reducir el impacto de las desviaciones. Esta es la razón principal por la que el equipo multidisciplinario debe tener amplios conocimientos de diseño, operación y mantenimiento en la planta de proceso (Herrera et al., 2018).

2.3. Residuos sólidos

De acuerdo con la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos Decreto legislativo N° 1278 (2016), los residuos sólidos son cualquier sustancia, elemento o material consecuencia del agotamiento o uso de un bien o servicio, del cual su beneficiario se deshaga o posea el propósito u compromiso de desasir, para ser manejados anticipando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final.

Los residuos sólidos circunscriben todo residuo o desecho en estado sólido o semisólido. Asimismo, se considera residuos aquellos que se encuentre en estado líquido o gaseoso y estén contenidos en receptáculos o almacenes que van a ser desechados, También los gases o líquidos, que por sus particularidades fisicoquímicas no puedan ser ingresados en los sistemas de tratamiento de emisiones y efluentes y por ello no pueden ser dispersados al ambiente. En estos casos los líquidos o gases deben ser preparados de manera segura para su apropiada disposición final. Estos deben ser manejados, según corresponda, por medio de un sistema con las siguientes particularidades de operación:

1. Barrido y limpieza de espacios públicos
2. Segregación
3. Almacenamiento
4. Recolección
5. Valorización
6. Transporte
7. Transferencia
8. Tratamiento
9. Disposición final

2.3.1. Tecnologías para la segregación de los desechos sólidos

La segregación de los residuos sólidos es uno de los pilares importantes del sistema gestión de los desechos sólidos (SGRS). Los residuos sólidos incluyen muchas cosas como piezas de metal, plásticos, entre otros, muchos de ellos pueden ser reutilizables y actúan como insumos para otros sistemas. Por ejemplo, los residuos orgánicos pueden ser usados para generar biogás y el residuo puede ser usado como biofertilizantes y las piezas de metal pueden ser usadas para el reciclaje. Los residuos plásticos no son bio-degradables, no pueden ser simplemente arrojados al vertedero o no pueden ser eliminados por incineración porque durante la incineración los plásticos se descomponen en los gases de fluorocarbono que afectan a la capa de ozono. Se requiere tratar y

segregar los residuos sólidos para un adecuado manejo de los residuos sólidos (Siddappaji, Sujatha, & Radha, 2016).

De acuerdo a Richard (2014), como se citó en Siddappaji et al. (2016), sugiere diferentes tecnologías para la segregación de residuos como la separación magnética, la separación por corrientes de Foucault, la clasificación por aire, la separación por vía húmeda, entre otras, para la separación de los residuos ferrosos, no ferrosos, plásticos, de vidrio y orgánicos. Para ello, primero se separan los residuos en diferentes tamaños mediante el uso de cribas o trasmallos y cada dimensión de los residuos se procesa por separado. Para todas estas cosas el papel propone un sistema mecánico.

Ahora bien, otro tipo de separador es el de corriente Eddy. En él, el proceso de separación tiene lugar en dos etapas, primero se separan las partículas fuertemente conductoras en la parte superior del tambor, y luego se separan las restantes partículas no decididas y poco conductoras en la parte inferior del tambor magnético. El separador dinámico de corrientes de Foucault con imanes permanentes separa las pequeñas partículas metálicas no ferrosas de las mezclas metálicas no ferrosas de dos componentes. El material se envía a lo largo de una cinta transportadora con una serie de sensores debajo. Estos sensores localizan diferentes tipos de metal que luego son separados por un sistema de rápidos chorros de aire que están conectados a los sensores (MihaiLungu, 2009, como se citó en Siddappaji et al., 2016).

Uno de los métodos de clasificación indirecta para clasificar residuos sólidos es por medio del uso de un sensor óptico y la separación mecánica sistema. En este sistema, el color, la forma y la dimensión de los residuos se utiliza para la separación de residuos. El dispositivo mecánico de clasificación consiste en una boquilla de aire comprimido que es controlada por una computadora; las partículas objetivo que fueron reconocidas fueron expulsados del flujo principal de residuos (Huang, Pretz y Zhengfu, 2010, como se citó en Siddappaji et al., 2016).

2.3.2. Proceso térmico para el tratamiento de residuos sólidos (pirólisis)

Los métodos de tratamiento termoquímico avanzado (TCT), a saber, la pirólisis, han recibido recientemente una atención renovada debido a las numerosas ventajas operacionales y ambientales que ofrece, dada la demanda mundial de energía y la inestabilidad del mercado de combustibles. La pirólisis se define como el proceso en el que se produce la degradación térmica en atmósferas inertes de materiales orgánicos de cadena larga con la presencia de un catalizador (pirólisis catalítica) o sin ella (proceso térmico). Las cadenas largas de los materiales orgánicos tratados resultan más pequeñas y menos complejas al controlar el flujo de calor y la presión de la operación (Qinglan et al., 2010, como se citó en Al-Salem, Antelava, Constantinou, Manos y Dutta 2017). Normalmente se requiere un tiempo de residencia más largo de la operación con un calor menos intenso, y los productos de la pirólisis se suelen clasificar como alquitranes (una mezcla de hidrocarburos aromáticos con un peso molecular mayor que el benceno), gases y carbón. La pirólisis no requiere la depuración de los gases de combustión, ya que los gases de combustión producidos se tratan en su mayoría antes de su utilización (Figuroa et al., 2013; Fodor y Klemes, 2012, como se citó en Al-Salem et al., 2017).

La pirólisis también se asocia comúnmente con la producción de valiosos alquitranes (es decir, aceites y ceras líquidas) a temperaturas relativamente moderadas entre 500 y 650 °C, con rendimientos que oscilan entre el 75 y el 80% del peso (Mastral et al., 2002; Fakhrhoseini y Dastanian, 2013, como se citó en Al-Salem et al., 2017). La producción residual de carbón producido podría utilizarse fácilmente como combustible o materia prima para otros procesos petroquímicos. Medioambientalmente, la pirólisis ofrece una solución alternativa a los vertederos y reduce los gases de efecto invernadero (GEI), es decir, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). La pirólisis tiene mejores ventajas medioambientales en comparación con otros Métodos de tratamiento de los residuos sólidos municipales. La pirólisis utiliza una atmósfera inerte libre de oxígeno, por lo que no forma dioxinas por reacción de los productos con el oxígeno. También reduce la huella de carbono de los procesos y productos reduciendo la emisión de monóxido de carbono (CO) y CO₂ (Chen et al., 2014;

Stanmore, 2004; McKay, 2002; Kanniche et al., 2010; Singh y Ruj, 2016, como se citó en Al-Salem et al., 2017).

Financieramente, la pirólisis produce un combustible de alto Valor Calorífico (CV) que podría ser fácilmente comercializado y utilizado en motores de gas para producir electricidad y calor (Demirbas, 2001, como se citó en Al-Salem et al., 2017). Junto con otros los métodos de TCT, a saber, la hidrogenación, la pirólisis ha demostrado ser una inversión muy lucrativa con una tasa interna de rentabilidad (TIR) superior a 30% en esquemas de economía de escala industrial. Los gases (fracción no condensable) producidos de la pirólisis, típicamente considerada como un subproducto, también son de un CV muy alto que puede ser usado para compensar la energía total requisito de la propia planta de pirólisis (Al-Salem et al., 2014; Arena et al., 2011; Abnisa y Wan Daud, 2014 como se citó en Al-Salem et al., 2017). La pirólisis también tiene ventajas económicas ya que no requieren tantas etapas de pre tratamiento de la materia prima como otros tratamientos métodos.

2.4. Tratamiento de residuos sólidos

Ahora bien, En el AIJC se realiza la segregación, recogida, tratamiento y disposición de los residuos generados en el terminal, oficinas administrativas, vuelos internacionales y nacionales, lo que permite obtener los diferentes tipos de residuos: residuos no peligrosos, residuos peligrosos y residuos potencialmente peligrosos.

De acuerdo Lima Airport Partners (2007), el sistema Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos – Tecnología Autoclave en su conjunto consta de los siguientes subsistemas:

- a) Sistema de Suministro de Agua, Ablandamiento, Soluciones de Lejía.
- b) Sistema de Drenaje y desagüe.
- c) Sistema de Caldera y Distribución de Vapor.
- d) Sistema de Combustible GLP.
- e) Sistema de Autoclave, Vacío, Compresor de Aire, Periféricos.

- f) Sistema Mecánico de Manejo de Residuos: Volteadores, Triturador, Faja Transportadora,
- g) Carritos, Lavado.
- h) Sistema Eléctrico, Iluminación, Puesta a Tierra y Telecomunicaciones.

A continuación, se describirán cada uno de los subsistemas que conformar sistema Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos – Tecnología Autoclave (Lima Airport Partners, 2007).

2.4.1. Suministro de suministro de agua

Según Lima Airport Partners (2007), el sistema de suministro de agua (Ver Figura 5) está comprendido por la cisterna de agua y el tanque hidroneumático con dos bombas centrifugas de agua, un ablandador de agua, dos tanques de para solución de hipoclorito de sodio con sus bombas respectivas, pozas para el lavado de carros y sistema de tuberías de distribución de agua.

El sistema para suministrar agua, está constituido por la cisterna y el tanque hidroneumático.

En la cisterna se recibe el agua que proviene de la red de abastecimiento de agua del aeropuerto, y tiene una capacidad de 8 m³.

El tanque hidroneumático es el equipo que le da presión al agua, necesaria para su distribución y uso en la bomba de vacío de la autoclave, sistema de solución de lejía de la poza de lavado de carros, a las boquillas de agua de lavado de carros y al sistema de ablandamiento de agua para alimentar a la caldera de vapor.

El tanque hidroneumático es un equipo que permite el almacenamiento de agua a presión, siendo la ventaja más importante de este sistema de bombeo precargado, es que contiene una membrana flexible y removible que forma un reservorio de agua completamente aislado del tanque metálico.

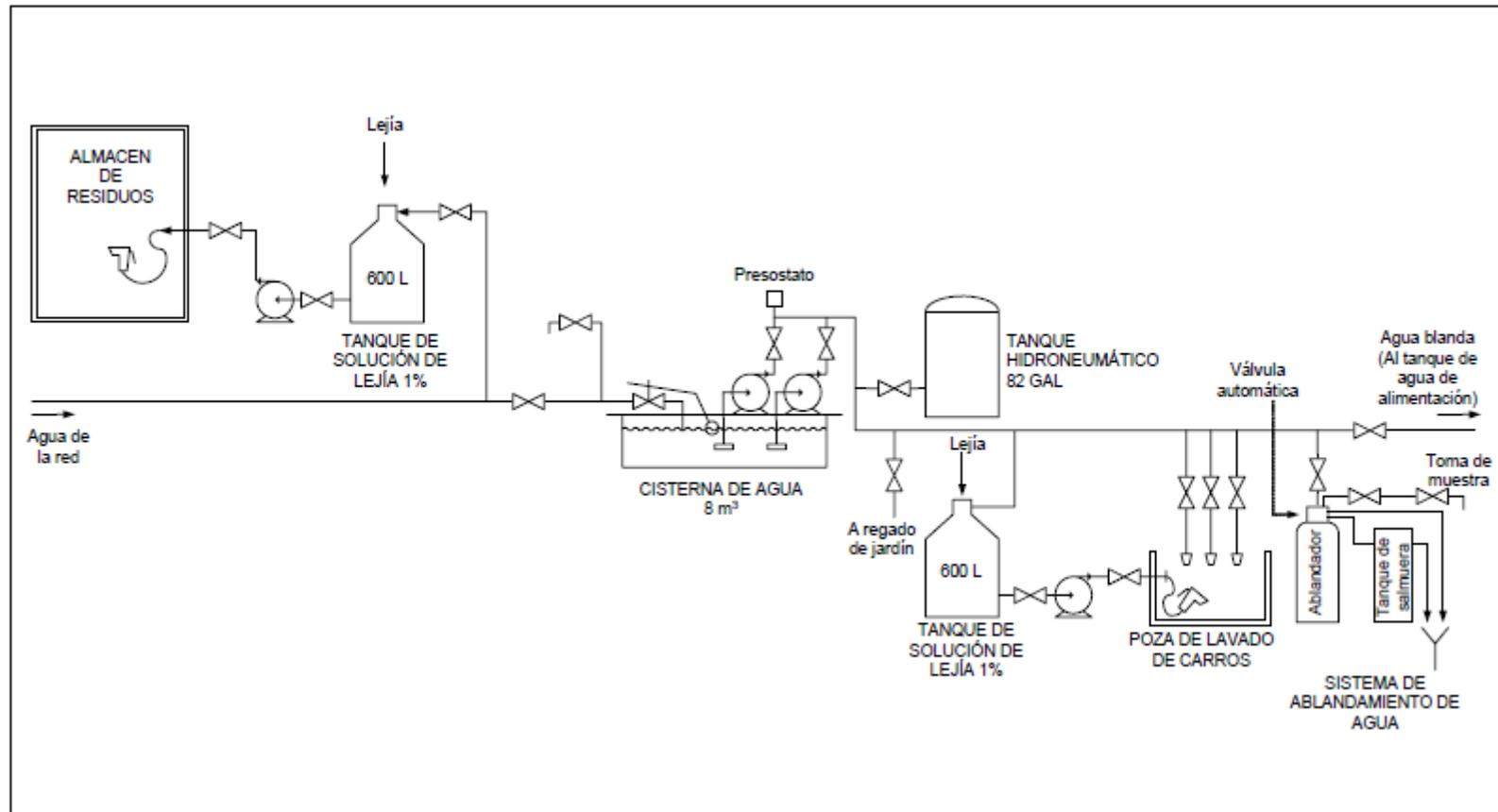


Figura 2. Suministro de suministro de agua Ablandamiento, Solución de Lejía. Fuente: Lima Airport Partners (2007).

2.4.2. Sistema de drenaje y desagüe

El sistema de drenaje y desagüe está comprendido por los puntos de drenaje de los equipos y las tuberías, canaletas y cajas de registros instaladas en toda la Planta. Es un sistema de flujo unidireccional, semiabierto que conducen básicamente aguas residuales (Lima Airport Partners, 2007).

2.4.3. Sistema de caldera y distribución de vapor

El proceso operativo de generar vapor consiste básicamente en suministrar el combustible y aire de combustión al quemador, los cuales producen la llama que calienta al agua de alimentación tratada suministrada por la bomba de agua, con lo cual se genera el vapor saturado, siendo todo controlado automáticamente por los elementos de control de nivel, presión, fogeo del quemador, entre otros (Ver Figura 6). El combustible proviene del Tanque de GLP, el aire se toma del ambiente y el agua del tanque de alimentación y retorno de condensado. La generación de vapor ocurre en la caldera, que no es más que un sistema de intercambio de calor donde existe dos circuitos: el lado del agua y el lado de los gases, ambos separados por una superficie metálica que son los tubos y hogar (Lima Airport Partners, 2007).

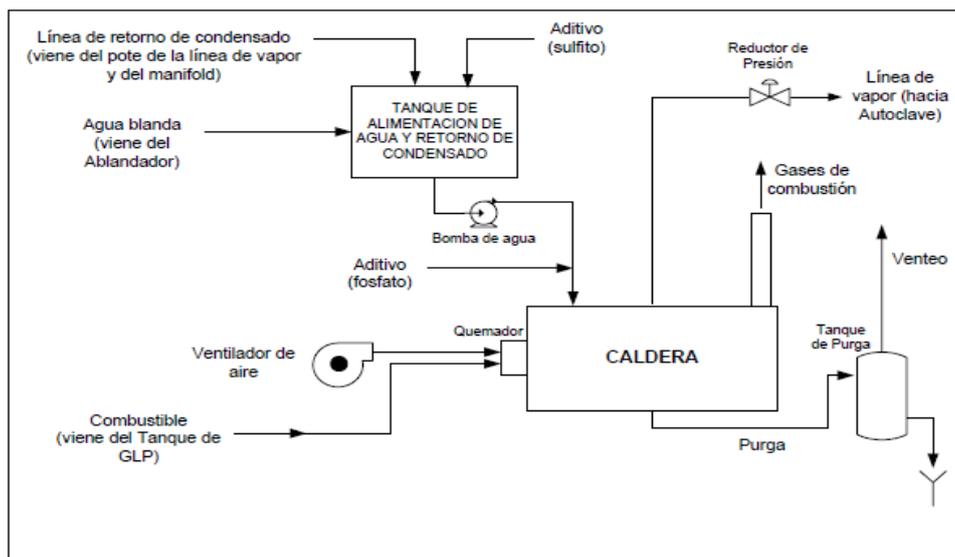


Figura 3. Diagrama de Flujo del Sistema de Vapor. Fuente: Lima Airport Partners (2007).

2.4.4. Sistema de combustible GLP

El sistema de combustible GLP está conformado por un tanque de almacenamiento de GLP, una línea de distribución de gas, dos estaciones reductoras de presión y un medidor de consumo de gas. El sistema es cerrado y trabaja en flujo continuo mientras haya consumo de gas en la caldera de vapor (Lima Airport Partners, 2007).

En el tanque el GLP se almacena en estado líquido. Por encima del nivel del GLP líquido se encuentra el gas a una presión entre 80 a 100 psi. Este gas a presión sale del tanque y pasa por un dispositivo Regulador de presión primario que reduce su presión a unos 15 psi y se transporta por una tubería de cobre de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro hacia la Sala de Caldera. En este punto la presión se reduce de 15 psi a unos 0.4 psi (27.5 Bar) mediante un segundo regulador de presión, pasando por un medidor de consumo de gas y luego llega al quemador de la caldera para su consumo (Lima Airport Partners, 2007). En la Figura 7 se muestra un diagrama de flujo del sistema de combustible GLP.

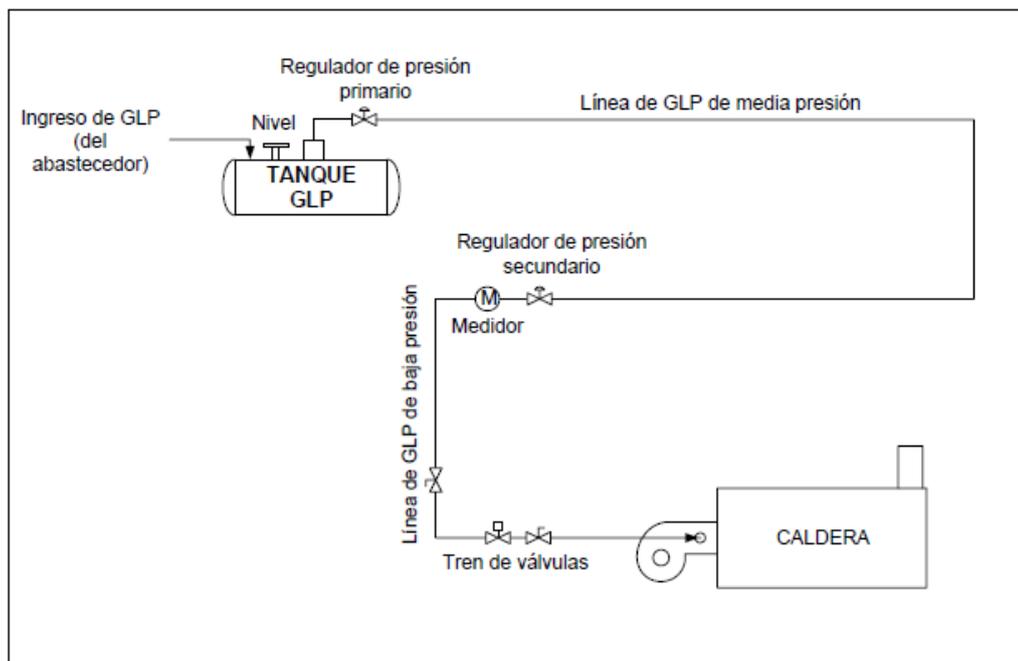


Figura 4. Diagrama de Flujo del Sistema de Combustible GLP. Fuente: Lima Airport Partners (2007).

2.4.5. Sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos

La esterilización a vapor es el procedimiento de esterilización más común que existe en la actualidad. El equipo a utilizarse se denomina autoclave (Ver figura 8). Para el funcionamiento de la autoclave se requiere de vapor saturado con un título de 95% y libre de impurezas (Lima Airport Partners, 2007).

El calor húmedo en la forma de vapor saturado bajo presión, es el medio más confiable conocido, para la destrucción de todas las formas de vida microbiana. El poder destructor de microbios está compuesto de dos factores, los cuales son ambos esenciales: humedad y calor (Lima Airport Partners, 2007).

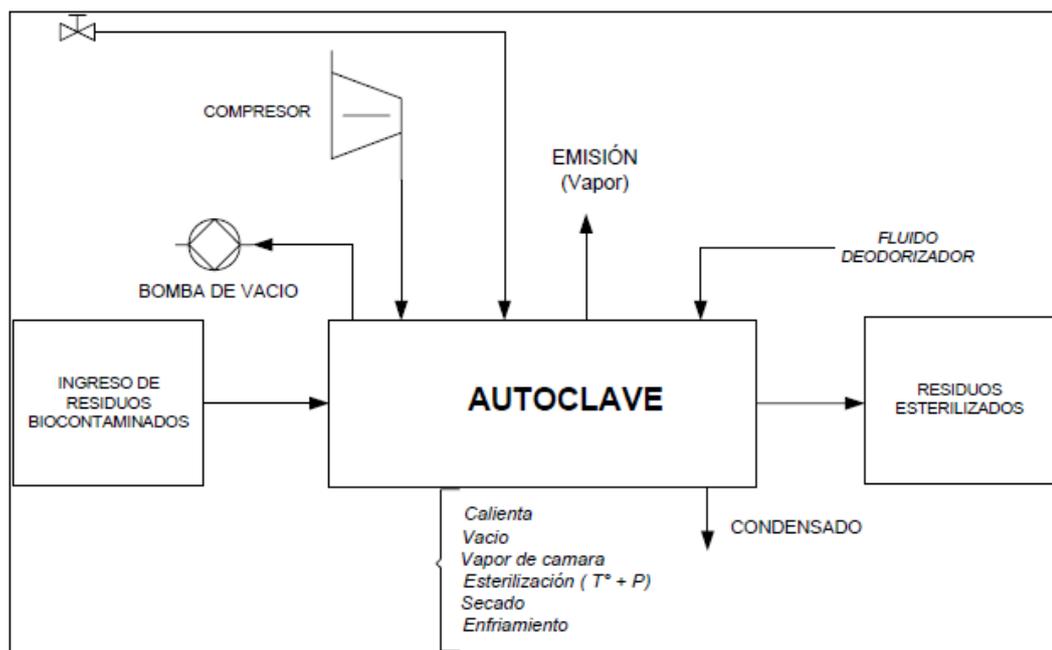


Figura 5. Diagrama de Flujo del Sistema de Autoclavado. Fuente: Lima Airport Partners (2007).

2.4.6. Sistema mecánico de manejo de residuos, volteadores, trituradores, faja transportadora, carritos y lavado

El sistema mecánico de manejo de residuos está conformado por el dos volteadores hidráulicos, un triturador, y una faja transportadora mecánica, complementarios a estos equipos se cuenta con carritos de aluminio y una zona de lavado de carros (Lima Airport Partners, 2007).

El sistema permite facilitar el manejo de los residuos para el ingreso a la cámara de esterilización, y a su vez al finalizar el ciclo de esterilización los residuos se inutilicen y reduzcan su volumen en la trituradora, para posteriormente se transporte mediante una faja hacia una zona de carga de residuos para su traslado por un camión tipo baranda (Lima Airport Partners, 2007).

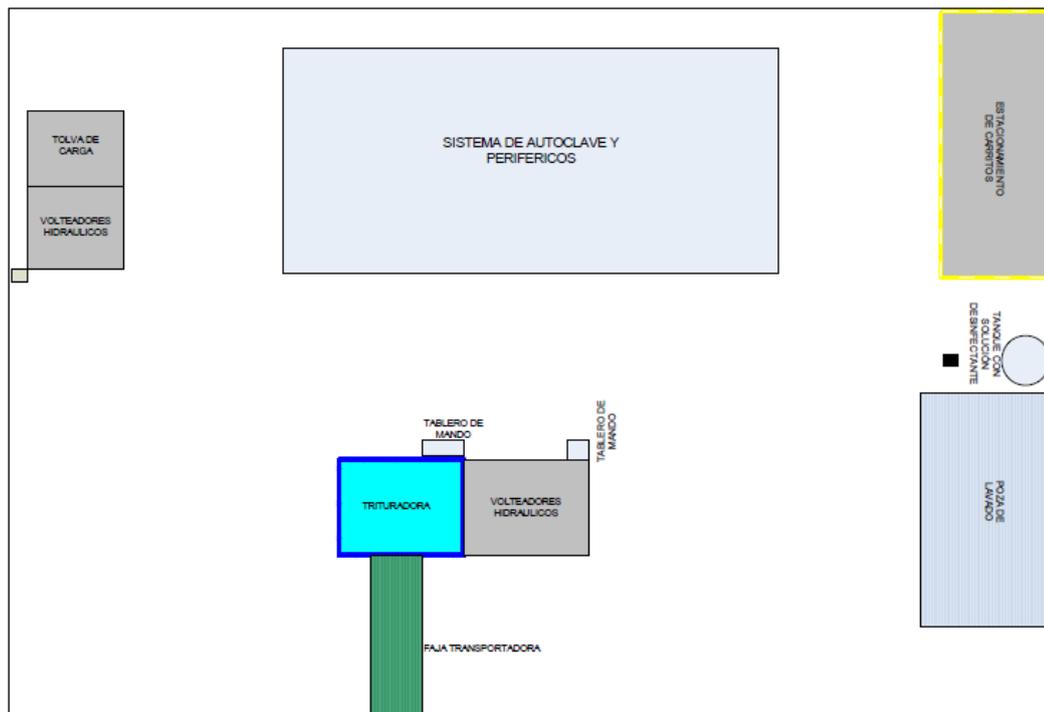


Figura 6. Esquema de distribución del sistema mecánico de manejo de residuos.
Fuente: Lima Airport Partners (2007).

2.4.6. Sistema eléctrico, iluminación, puesta a tierra y telecomunicaciones

Los circuitos eléctricos constituyen las líneas que vinculan los tableros generales con los artefactos o equipos de consumo. En el diseño de los circuitos eléctricos se emplean interruptores termomagnéticos que cortan la circulación de la corriente sobre el conductor activo o vivo. Este criterio es por razones de seguridad, dado que si una persona accede al artefacto con el interruptor abierto está vinculado con el conductor vivo, que normalmente es la que da origen a accidentes eléctricos por contacto directo (Lima Airport Partners, 2007).

En la planta de tratamientos de residuos sólidos cuenta con los siguientes circuitos eléctricos:

Circuitos de Fuerza

Son circuitos monofásicos que alimentan salidas para cargas de consumos unitarios mayores. Los circuitos de fuerza son los que controlan las cargas especiales, aquellas cargas que por su alta potencia requieren de un alimentador propio.

Circuitos de Tomacorriente

Son circuitos monofásicos o trifásicos que alimentan salidas de tomacorrientes que se utilizan básicamente en el interior de la nave de autoclave, sala de caldera y en el área de los residuos a tratar.

Circuitos de Alumbrado

Son circuitos monofásicos que alimentan las fuentes de iluminación que se utilizan básicamente en el interior de la nave de autoclave, sala de caldera, área de los residuos a tratar y en el exterior. En los circuitos de iluminación son los que controlan los artefactos de iluminación.

Circuitos de Puesta a Tierra

El circuito de puesta a tierra tiene como finalidad proteger contra riesgos de contactos indirectos, es decir, proteger al personal de la planta contra riesgos de contacto con masas puestas accidentalmente bajo tensión.

Las masas metálicas existentes en la planta están unidas eléctricamente a una toma a tierra. Este circuito de puesta a tierra debe ser continuo, permanente y tiene la capacidad de carga para conducir la corriente de falla y una resistencia apropiada. No obstante, periódicamente se debe verificar los valores de resistencia de tierra. Los valores de resistencia a tierra obtenidos se deben encontrar por debajo del máximo permitido.

2.5 Marco legal

2.5.1. Constitución política del Perú - 1993

En su artículo N°02, inciso 22, indica que toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

2.5.2 Ley general del ambiente. Ley N° 28611

En su artículo 66. De la salud ambiental, en el numeral 66.1, establece que la prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritaria en la gestión ambiental. Es responsabilidad del Estado, a través de la Autoridad de Salud y de las personas naturales y jurídicas dentro del territorio nacional, contribuir a una efectiva gestión del ambiente y de los factores que generan riesgos a la salud de las personas.

De igual manera, en el Artículo 74. De la responsabilidad general, se establece que todo titular de operaciones es responsable por las emisiones, efluentes, descargas y demás impactos negativos que se generen sobre el ambiente, la salud y los recursos naturales, como consecuencia de sus actividades. Esta

responsabilidad incluye los riesgos y daños ambientales que se generen por acción u omisión.

Mientras que en el Artículo 75. Del manejo integral y prevención en la fuente, en el numeral 75.1, establece que el titular de operaciones debe adoptar prioritariamente medidas de prevención del riesgo y daño ambiental en la fuente generadora de los mismos, así como las demás medidas de conservación y protección ambiental que corresponda en cada una de las etapas de sus operaciones, bajo el concepto de ciclo de vida de los bienes que produzca o los servicios que provea, de conformidad con los principios establecidos en el Título Preliminar de la presente Ley y las demás normas legales vigentes.

2.5.3. Ley general de salud. Ley N° 26842

Esta ley indica en su artículo 104°, que toda persona ya sea natural o jurídica, tiene impedimento a realizar descargas de desechos o cualquier otra sustancia que puedan tener efectos adversos al agua, aire y el suelo. Así mismo en el artículo 107° de la ley se indica que la disposición de los residuos sólidos se encuentra sujeto a lo dispuesto por la autoridad de salud competente, quien se encarga de vigilar su cumplimiento.

2.5.4. Decreto legislativo N° 1278. Ley de gestión integral de los residuos sólidos

La cual tiene como propósito la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, procesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente. La disposición final de los residuos sólidos en la infraestructura respectiva constituye la última alternativa de manejo y deberá realizarse en condiciones ambientalmente adecuadas, las cuales se definirán en el reglamento del presente Decreto Legislativo emitido por el Ministerio del Ambiente.

2.5.5. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo DS N°005-2012 TR

El estado peruano reconoce el derecho a la integridad física y salud de las personas en todo ámbito, incluido el laboral. Los trabajadores deben contar con los requisitos básicos de protección social y en las actividades laborales.

El Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo mediante el Decreto Supremo N° 005-2012 -TR Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo tiene como principio comprometer al empleador con la seguridad, trabajar coordinadamente con el Gobierno y los trabajadores para mejorar las condiciones laborales y reducir riesgos de enfermedades ocupacionales, prevenir accidentes, proteger y capacitar a los trabajadores, proporcionar atención integral de salud ante un accidente, orientar y proporcionar a los empleadores con información veraz sobre temas de Seguridad y Salud. El DS también indica que toda empresa que tenga más de 20 empleados debe elaborar su Reglamento Interno de Seguridad y Salud del Trabajo.

2.5.6. Resolución ministerial N° 403-2018-MINAM. Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales

Es un instrumento para la gestión y manejo de residuos sólidos municipales que tiene por objeto orientar la elaboración de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (EC-RSM) mediante pautas metodológicas que describen en forma clara y sencilla los pasos para la obtención de cifras locales relacionadas a estos residuos, lo cual permitirá el dimensionamiento adecuado de los servicios de limpieza pública, así como una planificación administrativa financiera ,técnica y operativa del manejo de los residuos sólidos.

2.5.7. International Standard IEC 61882:2016

El alcance de esta Norma Internacional es ofrecer una guía para los estudios de HAZOP de los sistemas que utilizan palabras guía. Da orientación sobre la aplicación de la técnica y sobre el procedimiento de estudio del HAZOP, incluida

la definición, la preparación, las sesiones de examen y la documentación y el seguimiento resultante.

También, proporcionar ejemplos de documentación, así como un amplio conjunto de ejemplos que abarcan diversas aplicaciones, que ilustran los estudios sobre el HAZOP.

Originalmente un estudio HAZOP era una técnica desarrollada para los sistemas de tratamiento de un medio fluido u otro flujo de material en las industrias de procesos donde ahora es un elemento importante de la gestión de la seguridad de los procesos. Sin embargo, su esfera de aplicación se ha ampliado constantemente en los últimos años y, por ejemplo, incluye el uso para:

1. Aplicaciones de software, incluyendo sistemas electrónicos programables;
2. Sistemas que implican el movimiento de personas por medios de transporte como la carretera, el ferrocarril y el aire;
3. Examinando diferentes secuencias y procedimientos operativos;
4. Evaluando los procedimientos administrativos en diferentes industrias;
5. Evaluar sistemas específicos, por ejemplo, dispositivos médicos;
6. Desarrollo de software y código;
7. Evaluar los cambios organizativos propuestos y definir los mecanismos para lograr esos cambios;
8. Probar y mejorar los proyectos de contrato y otros documentos jurídicos;
9. Probar y mejorar los documentos, incluidas las instrucciones y procedimientos para actividades críticas.

El estudio del HAZOP es particularmente útil para determinar las deficiencias de los sistemas (existentes o propuestos) relativos al flujo de materiales, personas o información, o a una serie de acontecimientos o actividades en una secuencia planificada o a los procedimientos que controlan dicha secuencia. Los estudios HAZOP también pueden utilizarse para condiciones no operacionales, como el almacenamiento y el transporte. Además de ser un instrumento valioso para el diseño y el desarrollo de nuevos sistemas, el HAZOP también puede emplearse provechosamente para identificar los riesgos y posibles problemas relacionados

con los diferentes estados de funcionamiento de un sistema determinado: por ejemplo, para los estados de puesta en marcha, de espera, de funcionamiento normal, de parada normal y de parada de emergencia. También puede emplearse para procesos y secuencias por lotes y en estado inestable, así como para los continuos. El HAZOP es parte integrante del proceso general de diseño y uno de los métodos que pueden emplearse para la identificación de riesgos como parte del proceso de gestión de riesgos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Proceso HAZOP

El proceso HAZOP (ver Figura 2) tiene como objetivo producir un conjunto completo de fallos para desarrollar una tabla de peligros que muestre que los peligros están controlados por barreras de seguridad apropiadas y con recomendaciones (Hadeef et al. 2019).

La matriz de riesgos (ver Tabla 3) además de las características clave de la evaluación HAZOP incluyen lo siguiente: Primero, la evaluación es un proceso creativo. La evaluación procede a través de una serie de palabras guía para identificar las posibles desviaciones de la intención del diseño, y considera estas desviaciones como "dispositivos de activación" para considerar cómo podría ocurrir la desviación y cuáles son las consecuencias. En segundo lugar, la evaluación es realizada por un equipo, que debe proporcionar una cobertura completa del sistema estudiado, utilizando un pensamiento lógico y analítico. Por último, la evaluación se basa en expertos de diversas disciplinas con las habilidades y la experiencia que demuestran intuición y buen juicio (Hadeef et al. 2019).

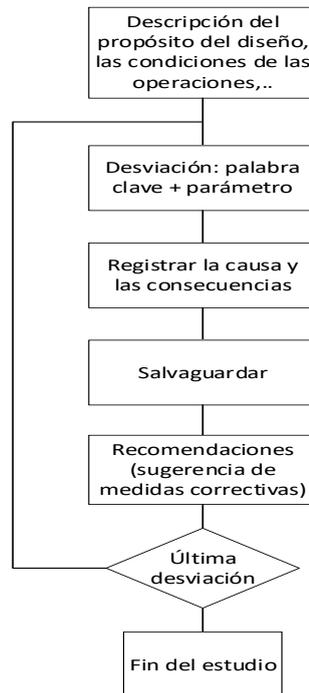


Figura 7. Procedimiento de estudio del HAZOP. Fuente: adaptado de Hade et al. (2019).

Entre las ventajas del análisis HAZOP se puede mencionar que se aplica independientemente del tamaño del sistema, ya que la aplicación de las palabras clave es independiente del tamaño del sistema. Además, el análisis HAZOP apropiado durante todas las etapas del ciclo de vida del sistema, el HAZOP puede ser utilizado en el diseño conceptual, para mejorar el diseño de los sistemas, para extraer los problemas que pueden ser realizados en caso de cambio. El último, puede referirse al análisis HAZOP en otras actividades del proyecto o para integrar este sistema en otra línea de producción. Por otro lado, de las limitaciones del método HAZOP incluyen lo siguiente: las influencias de la calificación del equipo la calidad del estudio y el proceso HAZOP no considerar explícitamente las fallas al mismo tiempo que causan que un sistema falle (Hade et al. 2019).

De acuerdo a la IEC 61882-2016 (2016) el procedimiento de estudio del HAZOP (Ver Figura 3) consiste en cinco pasos principales:

1. Determinar el objeto de estudio y seleccionar una parte (nodo) del sistema para análisis.
2. Determinar los parámetros, definir las palabras guía y acordar si una palabra guía se utiliza directamente para el parámetro en sí o para la característica individual del parámetro.
3. Combinar las palabras guía (como, no, más, menos) con los parámetros (por ejemplo, temperatura, flujo, presión) que tienen por objeto revelar las desviaciones.
4. Analizar las causas y consecuencias de las desviaciones.
5. Identificar las medidas de protección y mitigación existentes para cada desviación y generar recomendaciones para una mayor reducción del riesgo cuando sea necesario.

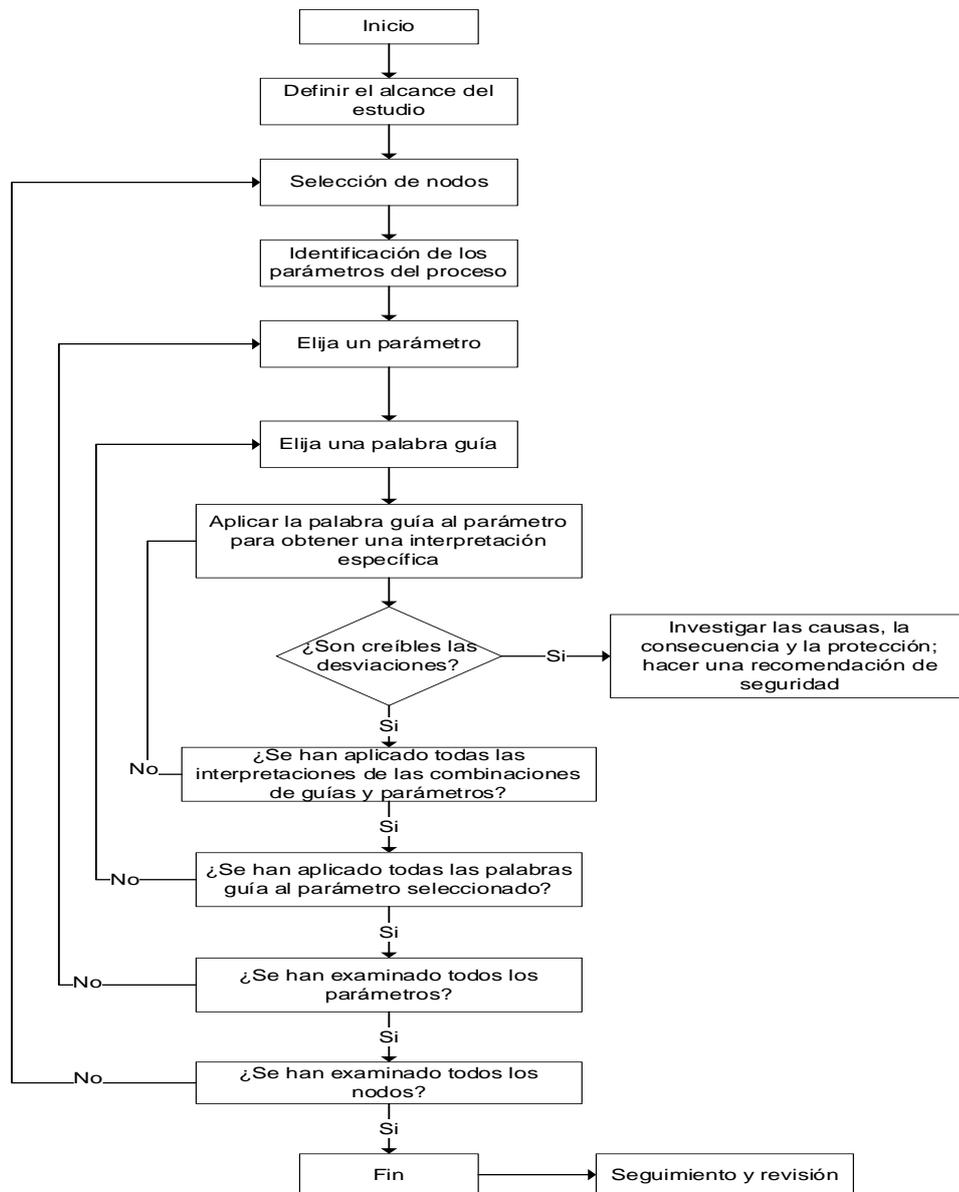


Figura 8. Diagrama de flujo de los procedimientos de evaluación del HAZOP.

Fuente: Adaptado de Zou et al. (2018).

3.1. Nodos

Para llevar a cabo un estudio sistemático, es necesario dividir la planta, diseño de modificación o procedimiento en artículos individuales, pasos operacionales, o áreas con una única intención funcional. Estos pueden ser artículos de plantas o pasos de procedimientos, y se refieren a como nodos. A cada nodo se le da un número de identificación único durante el curso del estudio (Rimkevicius et al., 2016, cómo se citó en Zou et al., 2018).

3.2. Parámetros

Los parámetros pueden clasificarse en dos categorías: 1) parámetros específicos, es decir, variables que describen los aspectos físicos y químicos del proceso que pueden medirse o detectarse (el resultado de las desviaciones en condiciones de diseño predeterminadas podría causar un escenario peligroso en ausencia de salvaguardias, como los controles de flujo y temperatura); y 2) parámetros generales, es decir, un grupo de situaciones que, por su ausencia o modificaciones cualitativas, pueden engendrar una condición de proceso peligrosa y, aunque son las causas de las desviaciones de parámetros específicos, su análisis independiente es esencial para asegurar el nivel de detalle deseado en la identificación del peligro (adiciones, contención, entre otros) (Dunjó et al, 2011, cómo se citó en Zou et al., 2018).

3.3. Palabras clave

La palabra guía es una palabra o frase específica del método HAZOP utilizada para describir la desviación del propósito del diseño (intención). Las palabras guía estándar de HAZOP en la industria de procesos son: no, son, más, menos, así como, parte de, y otros; (Ver tabla 3) (IEC 61882- 2016, 2016). Las palabras guía se seleccionan de acuerdo con los parámetros del proceso y las condiciones operacionales y deben ser probadas contra el sistema para confirmar su adecuación (Ahn y Chang, 2016, cómo se citó en Zou et al., 2018).

Tabla 3. Palabras guía básicas y sus significados genéricos

Palabra clave	Significado
No	Negación completa de la intención del diseño
Más	Aumento cuantitativo
Menos	Disminución cuantitativa
Así como	Modificación/aumento cualitativo
Parte de	Modificación/disminución cualitativa
Reversa	Lógico opuesto a la intención del diseño
Además de	Sustitución completa

Fuente: IEC 61882- 2016 (2016). Adaptado de Zou et al. (2018).

3.4. Desviaciones

La combinación de palabras guía y parámetros puede formar una serie de situaciones hipotéticas que se desvían de las intenciones de diseño del sistema; una desviación significativa es la que es físicamente posible y podría conducir a posibles peligros para la seguridad, la salud o el medio ambiente. Para cada desviación identificada, un equipo de expertos debe considerar: ¿Es posible la desviación? e intentar encontrar las posibles causas y los resultados esperados de la desviación mediante una serie de preguntas como las siguientes: ¿Qué causa que la temperatura del sistema sea demasiado alta? y ¿Qué podría suceder si la temperatura del sistema es demasiado alta? Cada desviación se considera entonces para decidir cómo podría ser causada y cuáles serían las posibles consecuencias. De esta manera, se obtienen todas las desviaciones del sistema. El equipo de expertos también identifica y registra las precauciones que actualmente están incorporadas en el diseño o forman parte de la práctica normal y sugiere posibles formas de protegerlo (Koscielny et al., 2017, cómo se citó en Zou et al., 2018).

3.5. Evaluación del riesgo

La evaluación de riesgos podría centrarse en dos formas diferentes de evaluaciones que son evaluaciones: cualitativas o cuantitativas. La evaluación de riesgos cualitativa consiste en evaluar valores de riesgo no numéricos para su evaluación. Pero la evaluación cuantitativa del riesgo es una caracterización numérica de los valores de riesgo a ser analizados. En algunos casos, el uso de la evaluación cualitativa permite superar las dificultades de la adquisición de datos cuantitativos. Esta complementariedad que define la evaluación semicuantitativa ampliamente utilizado en la evaluación de riesgos debido al desarrollo de la matriz de riesgo (ver Tabla 4). Este estudio utiliza la matriz de riesgo más utilizado en el análisis de riesgos de los sistemas de producción de hidrógeno. Esta matriz tiene cuatro categorías de probabilidad de ocurrencia y cinco categorías de gravedad; la combinación entre estas categorías nos ha dado tres niveles de riesgo: bajo, medio y alto. Entonces, nos centramos en esta matriz para evaluar la criticidad de los escenarios de riesgo identificados de acuerdo con el proceso HAZOP (Hadeef et al. 2019).

Tabla 4. Matriz de riesgos utilizada en el análisis del HAZOP.

Niveles de gravedad de las consecuencias	Niveles de probabilidad			
	1	2	3	4
	Improbable	Remoto	Ocasional	Probable
1 Daños menores	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
2 Daños	Bajo	Bajo	Medio	Alto
3 Daños mayores	Medio	Medio	Alto	Alto
4 Pérdida severa	Medio	Alto	Alto	Alto
5 Catastrófico	Alto	Alto	Alto	Alto

Fuente: adaptado de Hade et al. (2019).

El riesgo suele expresarse en términos de una combinación de las consecuencias de un evento junto con la probabilidad asociada de su ocurrencia. Para tomar decisiones sobre la aceptación del riesgo de cada desviación y priorizar los riesgos que requieren más atención después del análisis HAZOP, se recomienda que la clasificación de riesgos se realice utilizando una matriz de riesgos. Una matriz de riesgos es una típica herramienta de evaluación semicuantitativa y sencilla que se utiliza para clasificar y priorizar el riesgo de los eventos (generalmente adversos) y para tomar decisiones sobre si ciertos riesgos pueden ser tolerados sobre la base de datos estadísticos históricos (Ni et al., 2010; Duijm, 2015, cómo se citó en Zou et al., 2018). A partir del resultado de la evaluación, en el que se clasifican las criticidades de los riesgos, se indican las diferentes prioridades de los riesgos, lo que sugiere qué riesgo es altamente peligroso y cuál requiere más atención, y qué riesgo puede ignorarse. Por lo tanto, el resultado de la evaluación es también la base para un mayor control y medidas de mitigación (Ni et al., 2010, cómo se citó en Zou et al., 2018).

La aplicación de una matriz de riesgos requiere el uso de categorías o clases discretas de probabilidad y gravedad. Las categorías de probabilidad se denominan clasificación de probabilidad de escenarios de peligro en el Estándar del Departamento de Energía de los EE.UU. (DOE -STD -3009 -2014, 2014, cómo se citó en Zou et al., 2018), que se muestra en la tabla 5. Las categorías de severidad están diseñadas teniendo en cuenta la dosis de radiación del

personal (personal, público), los daños ambientales y los daños al equipo a los que se hace referencia (HNF-6527, 2000; Bucket al., 1995, cómo se citó en Zou et al., 2018) como se muestra en la tabla 6.

Tabla 5. *Clasificación cualitativa de la probabilidad*

Descripción	Rango de probabilidad (/año)	Definición
L1: Improbable	$< 10^{-6}$	Los acontecimientos son tan improbables que por lo general no requieren controles especiales.
L2: Extremadamente improbable	Entre 10^{-4} – 10^{-6} , eventos que probablemente no ocurrirán	Eventos que probablemente no ocurrirán durante la vida de la instalación.
L3: Muy Poco probable	Entre 10^{-2} – 10^{-4}	Eventos que no se prevé que ocurran durante la vida de la instalación.
L4:	$> 10^{-2}$	Acontecimientos que pueden ocurrir varias veces durante la vida útil de la instalación (incidentes que comúnmente se producen).

Fuente: DOE-STD-3009-2014 (2014), adaptado de Zou et al. (2018).

Tabla 6. *Clasificación de la gravedad.*

Descripción	Definición
C1: Insignificante	Efecto insignificante en la operación de seguridad, merece un acercamiento, pero no hay preocupación por la seguridad de los trabajadores, de la instalación, así como ningún efecto ambiental.
C2: Menor	Efectos potenciales en la operación de seguridad de la instalación, pero no hay preocupación por la seguridad de los trabajadores, de la instalación, así como tampoco efecto ambiental.
C3 Moderado:	Posible daño significativo, pérdida parcial de función o preocupaciones de seguridad no significantes para la instalación, trabajadores, y ningún efecto ambiental significativo fuera de los sistemas de confinamiento de las

C4: Grave	instalaciones. La pérdida de uso del equipo o generación de consecuencias para los trabajadores, las instalaciones, y limitadas descarga ambiental de material peligroso fuera de la de la instalación.
C5: Crítico	La integridad del equipo ha sido dañada con importantes consecuencias a los trabajadores ubicados dentro o fuera de la instalación, y grandes descargas ambientales de material peligroso dentro o fuera de fuera de los límites del emplazamiento de la planta.

Fuente: Adaptado de Zou et al. (2018).

La matriz de riesgos está diseñada de acuerdo con los requisitos de la Organización Internacional de Normalización (ISO 31010:2009, 2010 cómo se citó en Zou et al., 2018); esta matriz también hace referencia a informes adicionales (Duijm, 2015; HNF- 6527, 2000; Buck et al., 1995 cómo se citó en Zou et al., 2018). Dentro de la matriz, como se muestra en la tabla 7 y la figura 4, la zona verde denota un riesgo razonablemente aceptable, la zona amarilla denota un riesgo que es aceptable con control, y las zonas naranja y roja denotan riesgo indeseable e intolerable riesgo, respectivamente. Cuando las causas y consecuencias de cada desviación se obtienen a través del análisis HAZOP, el nivel de probabilidad y la gravedad de cada desviación puede determinarse refiriéndose a las tablas 3 y 4, y por lo tanto el nivel de riesgo de cada desviación puede ser obtenido (Zou et al., 2018).

Tabla 7. *Matriz de riesgo*

Nivel de riesgo	Descripción del riesgo	Descripción cualitativa del riesgo
Rojo (15-20)	Intolerable	El riesgo debe ser mitigado; o bien disminuye la probabilidad o bien alivia las consecuencias.
Naranja (10-12)	Indeseable	Indeseable y sólo se acepta cuando la reducción del riesgo es

Amarillo (4-9)	Aceptable con control	impracticable. Aceptable después de la revisión, y se impondrá una medición regular de garantía de seguridad.
Verde (1-4)	Razonablemente aceptable	La reducción de riesgos no es necesaria

Fuente: ISO 31010:2009 (2010). Adaptado de Zou et al. (2018).

Probabilidad	L4	4	8	12	16	20
	L3	3	6	9	12	15
	L2	2	4	6	8	10
	L1	1	2	3	4	5
		C1	C2	C3	C4	C5
		Severidad				

Figura 9. *Matriz de riesgo*. Fuente: Adaptado de Zou et al. (2018).

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE METODOLOGÍA

4.1. Generalidades

Al ser el AIJC un aeropuerto de gran envergadura, se preocupa por contar con una gestión adecuada de residuos potencialmente peligrosos, peligrosos y no peligrosos, evitando riesgos para la seguridad sanitaria que puedan afectar a clientes y visitantes.

Tabla 8. Tipo de residuos

Tipo de residuos	Definición	Tratamiento
Residuos potencialmente peligrosos	Residuos provenientes de los vuelos Internacionales (potencialmente biocontaminados)	Su tratamiento es realizado en autoclave. Esta clase de residuos puede contener patógenos que afectan la seguridad sanitaria y traslada potenciales enfermedades a la población. Para su adecuada disposición y eliminación de riesgos, estos residuos son esterilizados y luego trasladados al relleno sanitario.
Residuos Peligrosos	Residuos tóxicos, corrosivos, reactivos, inflamables, explosivos, radioactivos e infecciosos como los materiales contaminados con hidrocarburos, aceite vegetal usado, grasa de trampa de cocina, combustible usado entre otros.	Son almacenados temporalmente en el bloque sanitario bajo condiciones seguras y medidas preventivas. Posteriormente, son transportados a un relleno de seguridad.
Residuos no peligrosos	Residuos del aeropuerto como plástico, papel, vidrio, entre otros. Por sus características, pueden ser destinados a reciclaje o no.	Se segregan en el bloque sanitario considerando si son de plástico, papel, vidrio, entre otros. Aquellos que puedan ser reciclados, son enviados a una planta de reciclaje. El resto de los residuos, como los de barrido, envolturas, de los servicios higiénicos y vuelos nacionales, se transportan a rellenos sanitarios autorizados.

Fuente: LAP (2020).

En base a lo anterior, la meta es mantener la tasa de reciclaje como mínimo en 15%. En el 2019, se incrementó la tasa de reciclaje en residuos no peligrosos de 14.26% a 16.32%, lo que equivale a 80 toneladas de residuos que no fueron llevados al relleno sanitario.

En cuanto a aquellos residuos que deben ser eliminados directamente, es manejado de acuerdo a la normativa vigente y cuentan con un contrato con una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS) autorizada por el MINAM. En el 2019, la EO-RS transportó un total de 387.71 toneladas de residuos peligrosos de vuelos nacionales y 892.722 toneladas de residuos peligrosos de vuelos internacionales tratados.

El total de residuos peligrosos de 387.71 toneladas fueron enviados a una empresa autorizada de recuperación de residuos. 108.45 toneladas fueron recuperadas, mientras 279.26 toneladas fueron finalmente llevadas a un relleno de seguridad.

Tabla 9. Residuos sólidos generados en el AIJC

Tipo de residuo en toneladas		2017	2018	2019
No peligroso	No recuperable	2,553.24	2,798.37	2,785.32
	Recuperable	412.15	465.34	546.05
Peligrosos	Nacionales	362.35	392.52	387.71
	Vuelos internacionales	987.54	947.83	892.72
Total		4,315.28	4,604.06	4,611.8

Fuente: LAP (2020).

4.2. Equipo de trabajo HAZOP (Hazard and Operability)

Una de las principales características de la metodología HAZOP es que se realiza en equipo llamado "EQUIPO HAZOP" dirigidas por un coordinador. El

equipo de trabajo debería de estar compuesto, como mínimo, por: Un responsable del proceso, operación en la planta, responsable de seguridad, mantenimiento y coordinador. Adicionalmente se puede recurrir a consultas puntuales a técnicos de otras áreas. En una planta en fase de diseño se completará el equipo con un responsable del diseño, uno de proyecto y el futuro responsable de la puesta en marcha.

Las personas que toman parte en las sesiones deberán de ser personas: Muy conocedoras de la planta y expertas en el campo. No es necesario que tengan un conocimiento previo del método en sí.

Una de las personas que formen parte del equipo de trabajo tendrá encomendada la labor de transcripción de las sesiones de forma precisa y lo más completa posible. Deberá tener capacidad de síntesis y un buen conocimiento tanto de la instalación como del método. Finalmente se registra los datos del equipo HAZOP.

Tabla 10. Equipo HAZOP del AIJC para el año 2020.

Nombres y Apellidos	Especialista	Responsabilidad
Nelson Porles	Responsable de la planta.	Supervisor de operación LAP
Gaspar Montes	Responsable del proceso	Supervisor operación TARIS
Renzo Gamarra	Responsable de seguridad	Coordinador

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Determinar la cantidad de nodos a analizar en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.

A continuación, se realizó la identificación de los nodos por subproceso del tratamiento de residuos sólidos del AIJC.

4.3.1. Sistema de suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía.

4.3.1.1. Proceso operativo del suministro de agua:

En relación al este sistema, se debe controlar la presión de arranque (20 psi) y presión de parada (40 psi) del sistema de bombeo. El uso de las bombas se realiza de manera alternada, de acuerdo al requerimiento del proceso. Por otro lado, este sistema no requiere ningún dispositivo para inyectar aire al tanque.

Para las operaciones que se efectúan en el proceso de suministro de agua se necesitan los siguientes insumos:

Electricidad: es necesaria para el accionamiento de las bombas centrifugas utilizadas en la alimentación de agua cruda al tanque hidroneumático.

Agua: es el insumo fundamental, el agua cruda (es la que se almacena en la cisterna) es bombeada y se abastece al ablandador de agua, haciendo uso del tanque hidroneumático.

La cisterna recibe agua desde la red y su llenado está controlado por un flotador que acciona mecánicamente y en forma autónoma la válvula de la línea de ingreso de agua. Si el nivel de agua baja, entonces la válvula de ingreso se abre por acción del flotador, y si el nivel sube hasta el punto de ajuste, entonces la válvula se cierra. En tal sentido su funcionamiento es intermitente.

El funcionamiento de tanque hidroneumático es cíclico, y consta de las siguientes etapas:

1. Inicio del ciclo: Tanque vacío, el diafragma es presionado contra el fondo del tanque.
2. Llenado: El agua es bombeada hacia el tanque levantando el diafragma hacía la cámara de aire.
3. Almacenamiento: El tanque está lleno y la bomba se ha apagado.
4. Descarga: La bomba permanece apagada mientras que la presión de aire presiona el diafragma liberando agua al sistema.

5. Inicio de un nuevo ciclo: El tanque está de nuevo vacío, la bomba arranca y un nuevo ciclo comienza.

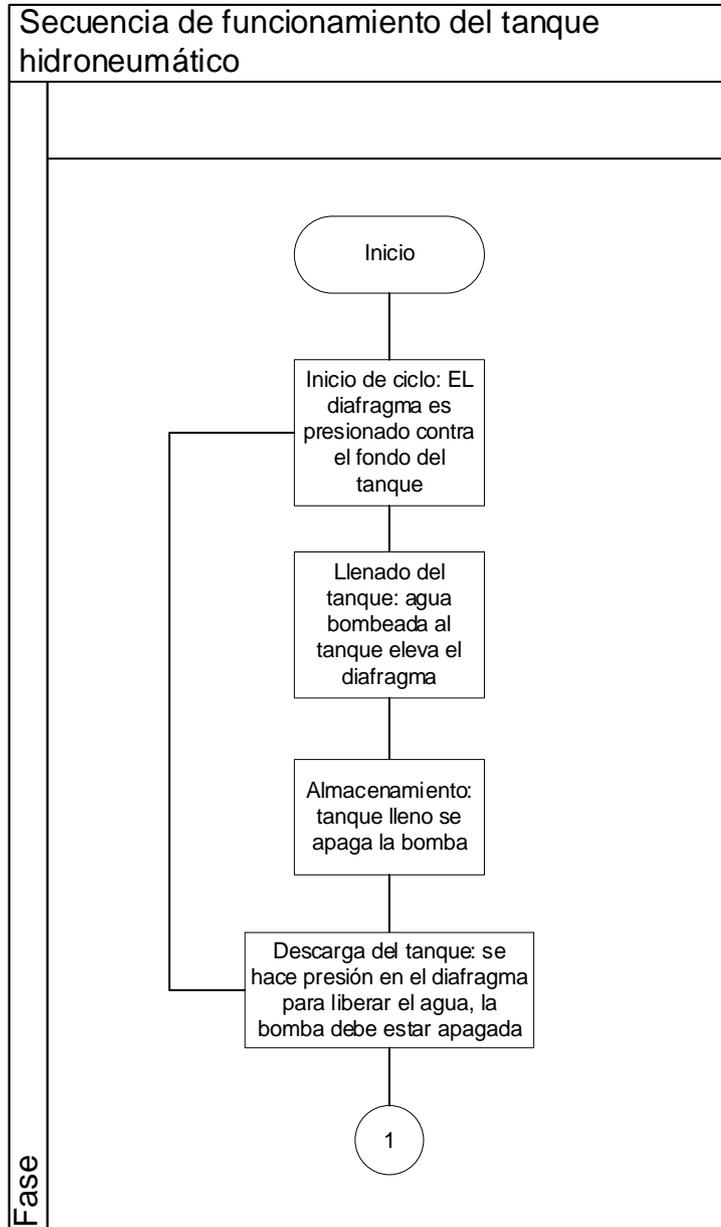


Figura 10. Funcionamiento del tanque hidroneumático. Fuente: elaboración propia.

En el proceso operativo del suministro de agua se identificaron 3 Nodos, los nodos son identificados para el análisis y estudio mediante la metodología HAZOP (Hazard Operability) se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. *Nodos identificados en el proceso operativo del suministro de agua.*

Nro.	Nodo	Descripción
1	Inicio de ciclo	El diafragma debe estar en el fondo del tanque
2	Llenado del tanque	El llenado se realiza con una bomba centrífuga a una presión de 20 psi.
3	Descarga	Se aplica presión al diafragma. La bomba debe apagarse una vez se complete la capacidad del tanque.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Proceso operativo de ablandamiento

El sistema de ablandamiento de agua por intercambio iónico, remueve del agua dura los iones indeseables (sales de calcio, magnesio, silicio, entre otros) transfiriéndolos a un material sólido granulado llamado resina.

Está conformado por un tanque de fibra de vidrio (el ablandador) y un tanque de salmuera para regenerar la resina del ablandador.

El tanque de fibra de vidrio, tiene en su parte superior una válvula modelo automática de iniciación por caudal, en este caso el requerimiento de agua blanda para el funcionamiento diario de la caldera de vapor es de 1200 litros/turno. Este tanque está cargado con resina iónica tipo Amberlite IR 120.

En el tanque de salmuera, contiene una solución de 10 % de NaCl (Cloruro de Sodio) prepara en las instalaciones, esta se utiliza en la etapa de regeneración de la resina iónica una vez que la misma se haya saturado.

Para las operaciones que se efectúan en el ablandador de agua se necesitan los siguientes insumos:

Electricidad: es necesaria para el accionamiento de la válvula automática modelo 5600 de iniciación por caudal (1200 litros/turno) utilizada para el funcionamiento automatizado del ciclo de ablandamiento de agua.

Agua: es el insumo fundamental, el agua cruda que viene del tanque hidroneumático es tratada en el ablandador de agua, a fin de disminuir la dureza cálcica y la dureza total, y poder así evitar problemas de incrustación al generar vapor en la caldera de vapor.

Resina: la resina catiónica tipo Amberlita IR 120. Es una resina intercambiadora de cationes, fuertemente ácida, tipo gel, sintética y de alta capacidad. Tipo poliestireno sulfonado en partículas esféricas transparentes de color amarillo casi perfectas, se utilizan en el ablandamiento de agua industrial.

El funcionamiento del sistema ablandador se describe a continuación:

1. Ablandamiento o Servicio

Es el proceso propiamente, como su nombre lo indica en el cual se realiza el intercambio de iones Calcio y Magnesio por Sodio, obteniéndose agua blanda.

Este proceso continúa hasta que el intercambio de iones empieza a cesar y comienza al agua a salir con algo de dureza; en este momento hay que sacar de servicio el ablandador para efectuarle la regeneración; es decir sustituirle los iones Sodio a la resina.

2. Lavado en Contracorriente o Retrolavado

Este proceso es el comienzo de la regeneración, se llama lavado en contracorriente porque al revés de lo que sucede en el proceso de ablandamiento (el agua fluye de arriba hacia abajo) el agua se introduce por medio de las válvulas, en sentido contrario de flujo. Este lavado tiene por objeto remover toda la suciedad que se asienta en la superficie de la resina, así como también las partículas de barro que se adsorben.

Esta operación dura de 10 a 15 minutos. La presión no deberá exceder los 24 psi. En esta etapa la resina se expande en un 50% aproximadamente, el flujo requerido es aproximadamente de 10 a 20 gal/pie³.

El flujo de agua de lavado debe ser tal, de modo que las partículas de resina se suspendan por el agua y choquen entre si a fin de que por efecto mecánico se desprendan las partículas de suciedad adheridas esta. La presión de lavado no debe superar los 24 psi, porque el agua adquiere (dentro del ablandador) demasiada velocidad y arrastra la resina al desagüe, perdiéndose.

3. Regeneración

Consiste en hacer pasar a través del lecho de resina, de arriba hacia abajo, la salmuera previamente preparada con objeto de que la resina recupere sus iones Sodio y deje en libertad los iones Calcio y Magnesio que había atrapado en el proceso de ablandamiento. La duración del pasaje de salmuera debe tener un mínimo de 30 minutos y un máximo de 45 minutos. Es preferible demorar 45 minutos para asegurarse una restitución total de los iones sodio a la resina.

4. Enjuague Final

Esta operación se realiza después de pasar la salmuera, con el objeto de eliminar los restos de sal que quedan embebidos en la resina. La duración es de 10 a 20 minutos de enjuague y probando con jabón; en cuanto desaparecen los últimos vestigios de sal, el agua hace espuma con unas gotas de solución de jabón.

Esta prueba se repite varias veces mientras se sigue enjuagando hasta que se forme espuma, el ablandador está listo para reiniciar su operación.

El flujo requerido para el enjuague oscila entre 1.00 a 1.5 gal/min/pie³. Otra manera sencilla para determinar el momento de detener el flujo de enjuague es verificando en el drenaje que el sabor del agua se tome insalubre a neutro. El requerimiento de agua de enjuague oscila entre 25 a 75 gal/pie³.

5. Nuevo Servicio de Ablandamiento

En esta posición el equipo proporciona agua blanda, producto del intercambio iónico, la cual se verifica haciendo un análisis de una muestra extraída del agua.

Pudiendo ser el tipo de análisis cualitativo o cuantitativo, indicando la concentración partes por millón (ppm) o mg/l de la dureza total expresada Carbonato de Calcio. El resultado indicará AGUA BLANDA si la dureza no excede los 2.5 ppm.

Todas estas operaciones se realizan en caso de las válvulas Multiport Aquamatic moviendo la palanca central en las posiciones arriba indicadas.

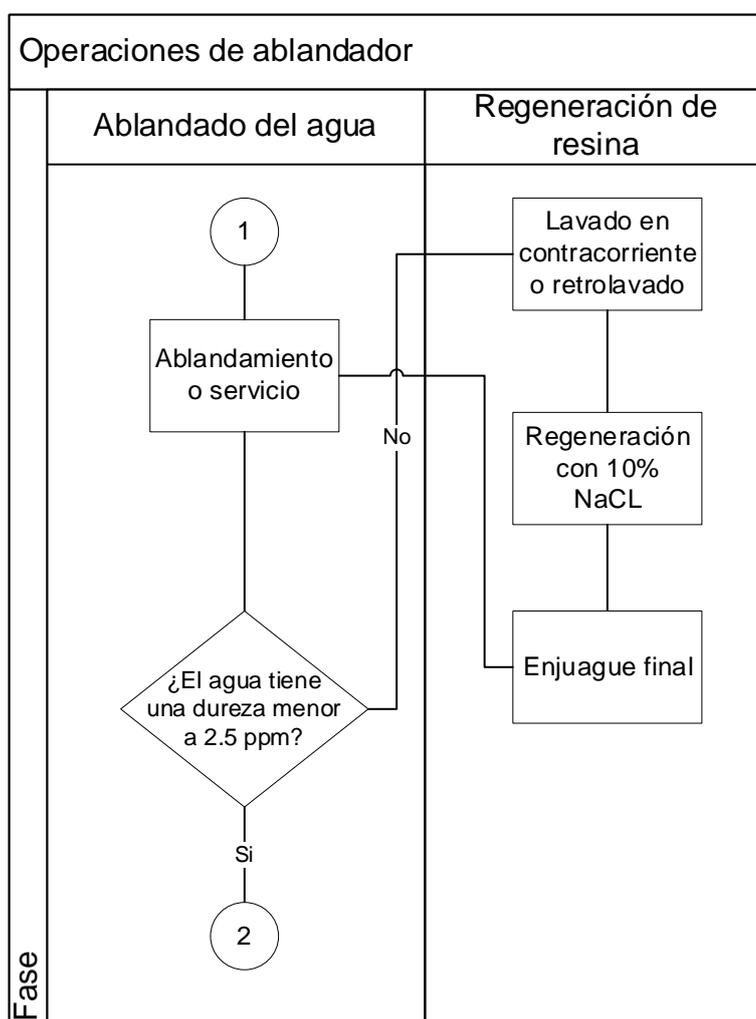


Figura 11. Operaciones del proceso del ablandador. Fuente: Elaboración propia. En el proceso operativo del suministro de agua se identificaron 3 Nodos, los nodos son identificados para el análisis y estudio mediante la metodología HAZOP (Hazard Operability) se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. *Nodos identificados en el proceso operativo de ablandamiento de agua.*

Nro.	Nodo	Descripción
1	Ablandador	Cantidad de resina en el ablandador y Dureza total del agua.
2	Lavado en contracorriente	Flujo y presión adecuada del agua de lavado
3	Regeneración	Concentración de la salmuera y tiempo de lavado.

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.3. Proceso operativo del suministro de solución de lejía

El sistema de solución de lejía tiene como propósito permitir la preparación de una solución al 1% de Lejía (Hipoclorito de Sodio), la cual sirve para desinfectar, mediante su aplicación en spray, los siguientes puntos:

- Paredes y piso del Almacén de Residuos sin tratar
- Carros de transporte de residuos (carros plásticos y metálicos)
- Paredes y piso de poza de lavado de carros.

Está conformado por un tanque a base de resina de polietileno de 600 litros, una bomba centrífuga de accionamiento magnético, tuberías y accesorios de ingreso y salida.

En el tanque se adiciona manualmente la solución concentrada de Lejía a un volumen determinado de agua para preparar la solución al 1%. La bomba centrífuga se utiliza para aplicar la solución en los puntos antes indicados.

Para las operaciones que se efectúan para la preparación de la solución de lejía se necesitan los siguientes insumos:

Electricidad: es necesaria para el accionamiento de la bomba centrífuga, utilizada en la aplicación de la solución.

Agua: es el insumo fundamental, el agua cruda es desinfectada al agregarle una solución concentrada de hipoclorito de sodio concentrada a fin de obtener una solución al 1 % de hipoclorito de sodio (Lejía), y con esta solución poder así desinfectar los carros al ser estos lavados.

El funcionamiento del sistema de solución de lejía consiste en preparar la solución al 1 % de Lejía, en el tanque previamente cargado con agua. La adición de esta solución concentrada se va a realizar de manera manual, una vez que se obtiene esta solución se activa la bomba centrífuga a fin de que al momento de realizar el lavado (ya sea del almacén de residuos contaminados sin tratar o en la poza de lavado de carros) al accionar la pistola de agua, se logre la desinfección de las mismas.

La solución de lejía al 1% se prepara mezclando lejía industrial al 7% con agua potable en la siguiente proporción para obtener 600 litros de solución: 86 Kg de Lejía en 514 l de agua. Si la lejía industrial se compra en otra concentración diferente a 7%, se realiza el cálculo correspondiente.

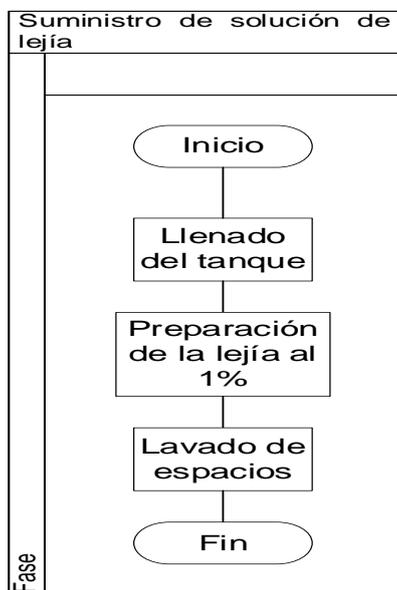


Figura 12. Proceso de suministro de solución de lejía

En el proceso operativo del suministro de solución de lejía se identificaron 3 Nodos, los nodos son identificados para el análisis y estudio mediante la metodología HAZOP (Hazard Operability) se presentan en la tabla 13.

Tabla 13. *Nodos identificados en el proceso operativo suministro de solución de lejía.*

Nro.	Nodo	Descripción
1	Tanque de almacenamiento	Condiciones del tanque
2	Circuito de llenado	Flujo y presión adecuada del agua
3	Línea de suministro	Flujo y presión adecuada del agua

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Sistema de caldera y distribución de vapor.

La caldera de vapor tiene una capacidad de 40 BHP (Boiler Horse Power) es del tipo pirotubular horizontal de 3 pasos, espalda húmeda (Wetback), de funcionamiento automático y produce vapor de tipo saturado.

La línea de distribución de vapor, conformada por una tubería de acero al carbono de 2 pulg de diámetro, está conectada directamente a la caldera de la cual recibe el vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera y lo conduce a un colector de vapor (manifold) donde se separa la humedad (gotas de agua) arrastrada de la caldera, de tal manera que al salir del colector está más seco y sigue su curso hacia la autoclave. Antes de llegar a la autoclave tiene un pote de drenaje de condensado (que se forma por la pequeña pérdida de calor en la tubería de vapor) y una estación reductora de presión de vapor (100 a 65 psig aprox.) que acondiciona la presión del vapor a la requerida por la autoclave (65 psig).

La línea de retorno de condensado, conformada por una tubería de acero al carbono de $\frac{3}{4}$ pulg de diámetro, está conectada al pote de condensado de la tubería de vapor y retorna el condensado al tanque de agua de alimentación de la caldera, de tal manera que el agua blanda fría en el tanque se calienta algo

por efecto del condensado caliente. El condensado retorna por efecto de la presión del vapor antes de la trampa de vapor.

4.3.2.1. Proceso Operativo de la Caldera de Vapor

Como ya se ha mencionado, la generación de vapor ocurre en la caldera, que no es más que un sistema de intercambio de calor donde existe dos circuitos: el lado del agua y el lado de los gases, ambos separados por una superficie metálica que son los tubos y hogar. Estos circuitos se explicarán a continuación:

Lado del agua:

Dentro de la caldera el agua alimentada empieza a absorber gran parte del calor de los gases de combustión, a través de los tubos, hasta vaporizarse a la presión de trabajo. El proceso de evaporación es continuo dentro de la caldera y mientras no haya demanda de vapor, la presión se irá incrementando hasta la presión máxima de trabajo. Dicha presión es suficiente para lograr que el vapor emerja de la caldera hacia el manifold o cabecero de vapor (donde se separa la humedad arrastrada) y de allí se distribuya por tubería hacia la autoclave.

En virtud de la evaporación continua del agua, y del hecho de que el tratamiento externo del agua alimentada no elimina en un 100% las sales que producen incrustaciones, el agua remanente dentro de la caldera va incrementando gradualmente su contenido de sólidos totales disueltos y otras impurezas producto del tratamiento interno, que hacen necesario que parte del agua de caldera (alrededor de un 5% del agua alimentada) deba ser retirada de la misma, lo cual se denomina purga. Existen dos tipos de purga, la purga de superficie (para retirar espumas de la superficie del agua) y la purga de fondo (para retirar el agua concentrada y los lodos producto del tratamiento con fosfato).

La porción de agua que se retira de la caldera mediante la purga, pasa de una zona de alta presión (interior de la caldera) a otra de baja presión (tanque de purga, abierto a la atmósfera), lo cual ocasiona que una parte del agua retirada se vaporice y los vahos se evacuen por un venteo superior.

Lado del combustible:

El combustible acondicionado en presión y caudal es alimentado al quemador de la caldera, donde también ingresa el aire de combustión suministrado por un ventilador, produciéndose la combustión del mismo con formación de llama y gases de combustión, que son evacuados por la chimenea.

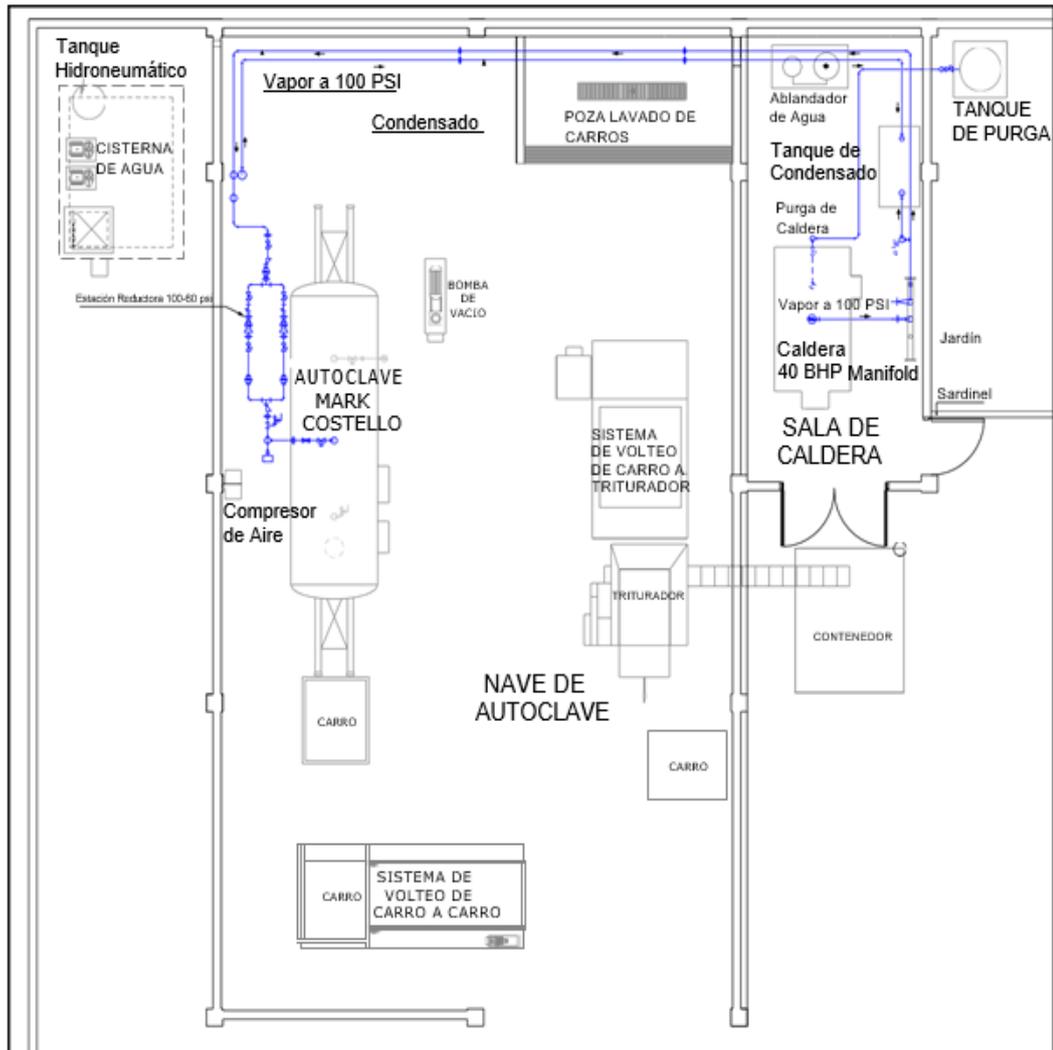


Figura 13. Ubicación del sistema de vapor.

En el proceso operativo del suministro de solución de lejía se identificaron 6 Nodos, los nodos son identificados para el análisis y estudio mediante la metodología HAZOP (Hazard Operability) se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. *Nodos identificados en el proceso del Sistema de Caldera y Distribución de Vapor.*

Nro.	Nodo	Descripción
1	Interior de la caldera	Formación de lodos, purgado de caldera, nivel de agua
2	Alimentación de agua a calentar	Flujo y presión adecuada del agua
3	Línea de suministro de combustible GLP	Flujo y presión adecuada del agua
4	Línea de suministro de aire	Flujo y presión adecuada del aire
5	Línea de distribución de vapor	Flujo y presión adecuada del vapor
6	Línea de retorno de condensado	Flujo y presión adecuada del agua

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos.

Las operaciones que se dan durante la esterilización a vapor son los siguientes:

1. Carga y encendido; los residuos biocontaminados son cargados en carritos de aluminio mediante una tolva y trasladados a la plataforma de elevación para su ingreso a la cámara de la autoclave.
2. Vacío; se realiza el desplazamiento del aire contenido en la cámara y se forma el vacío.
3. Vapor de Cámara; ingreso de vapor saturado a la cámara de la autoclave.
4. Esterilización; se somete a los residuos al proceso de esterilización a condiciones de 134 °C de temperatura a una presión de 70 PSI, antes de culminar el proceso se inyecta un líquido desodorizador.
5. Secado; se produce un secado por el egreso de vapor al finalizar el proceso.
6. Enfriamiento; se realiza por el ingreso de aire al interior de la cámara.
7. Disposición y Limpieza; se realiza el retiro de los residuos tratados para su inutilización en la trituradora.

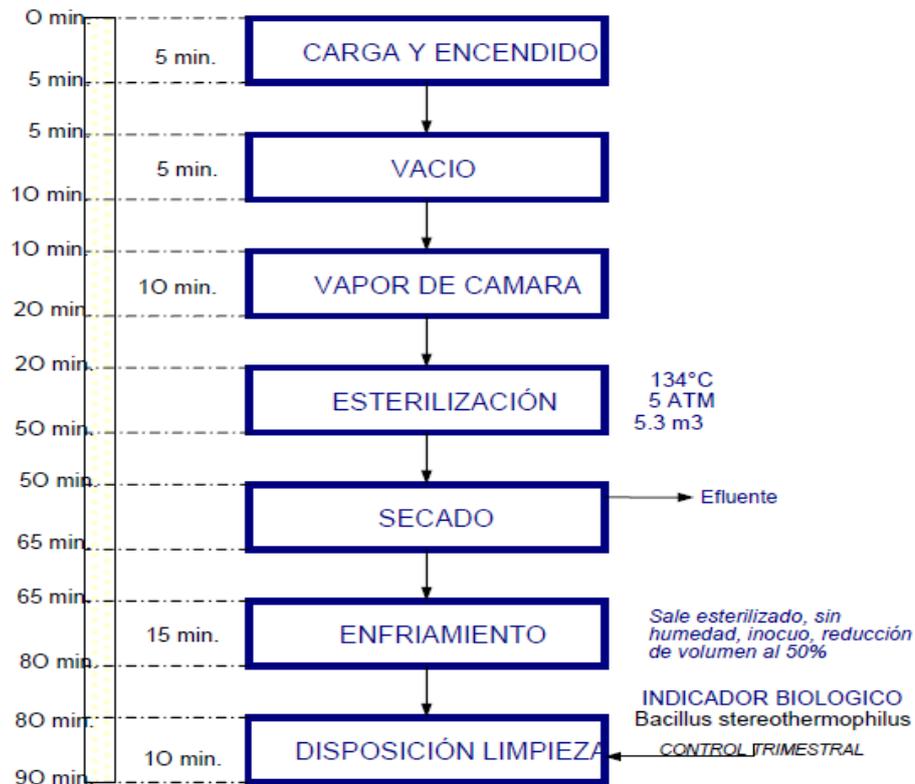


Figura 14. Interfases del sistema de autoclavado. Fuente: Lima Airport Partners (2007).

En el proceso operativo de autoclave se identificaron 5 Nodos, los nodos son identificados para el análisis y estudio mediante la metodología HAZOP (Hazard Operability) se presentan en la tabla 15.

Tabla 15. Nodos identificados en el proceso del Sistema autoclave.

Nro.	Nodo	Descripción
1	Vacío	Eliminación del aire de la cámara
2	Alimentación de vapor	Flujo, presión adecuada y temperatura del vapor
3	Esterilización	Control de temperatura y presión adecuada
4	Línea de suministro de aire para enfriado	Flujo y presión adecuada del agua
5	Inyección del líquido desodorizador.	Flujo y presión adecuada del agua

Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora.

El sistema mecánico de manejo de residuos se encuentra ubicado al ingreso de la cámara de esterilización y a la salida de cámara. El volteador mecánico y su tolva de carga se encuentra frente a la puerta de ingreso a la autoclave y el volteador mecánico, triturador y faja transportadora se encuentran frente a los mandos de la autoclave. La finalidad del sistema radica en permitir una fácil maniobra de los residuos y la reducción e inutilización de los residuos.

El sistema de manejo mecánico de residuos tiene relación con los siguientes sistemas:

- Sistema de recolección y transporte interno de residuos biocontaminados provenientes de los vuelos internacionales.
- Sistema de Autoclave, Vacío, Compresor de Aire, Periféricos: la autoclave recibe los residuos sólidos para ser esterilizados.
- Sistema Eléctrico, Iluminación, Puesta a Tierra y Telecomunicaciones: alimenta electricidad para el volteador de carro a carro, volteador de carro a trituradora, panel de control de trituradora, bombas hidráulicas de los volteadores.
- Sistema de Señalización de Seguridad y Extintores: el ambiente para la esterilización de los residuos cuenta con señalización y extintores de Polvo Químico Seco para combatir incendios.

Especificaciones técnicas del sistema.

Tabla 16. Volteador Mecánico de Carro a Carro

Características	Descripción
Dimensiones	1.90 x 1.34 m
Capacidad de Carga	1000 kg
Cilindros	Diámetro 0.10 m Barra 0.06 m Stroke 0.66 m
Potencia	de 3 HP

Alimentación Hidráulica	
Peso de la Maquina	Aprox. 775 Kg
Voltaje (*)	230 - 460V / 3PH / 60 Hz

Fuente: LAP (2020).

Tabla 17. Volteador Mecánico de Carro a Triturador

Características	Descripción
Dimensiones	1.90 x 1.70 m
Capacidad de Carga	500 kg máx. aprox.
Cilindros	Diámetro 0.10 m Barra 0.06 m Stroke 0.66 m
Potencia de Alimentación Hidráulica	10 HP
Peso de la Maquina	1200 kg aprox.
Voltaje (*)	230 – 460V / 3PH / 60 Hz

Fuente: LAP (2020).

Tabla 18. Triturador

Características	Descripción
Tolva de Ingreso	0.81 x 1.0 m
Volumen de la Tolva	1.5 - 1.91 m ³
Diámetro del Rotor	0.38 m
Número del Cortador	34
Velocidad del Rotor	90-150 RPM
Potencia	30 HP
Potencia de Alimentación Hidráulica	de 1.5 - 2 HP, dos Velocidades
Peso de la Maquina	Aprox. 1905 Kg

Voltaje (*)	460V / 3PH / 60 Hz
Flujo de Trituración	91 - 453 Kg/h

Fuente: LAP (2020).

Tabla 19. Faja Transportadora

Características	Descripción
Dimensiones de la Faja	5.80 x 0.45 m
Capacidad de carga	80 Kg max 29 Kg/m max

Fuente: LAP (2020).

En el proceso operativo del suministro de solución de lejía se identificaron 3 Nodos, los nodos son identificados para el análisis y estudio mediante la metodología HAZOP (Hazard Operability) se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Nodos identificados en el proceso del Sistema Mecánico de Manejo de Residuos.

Nro.	Nodo	Descripción
1	Alimentación hidráulica	Control de potencia
2	Capacidad	Control de peso de carga
3	Triturador	Control de velocidad del rotor

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta un resumen de los nodos encontrados en los procesos de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Tabla 21. Nodos de los procesos de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.

Procesos	Cantidad de nodos identificados
Suministro de agua	9
Sistema de Caldera y Distribución de Vapor	6

Sistema de Autoclave, Vacío, Compresor de Aire, Periféricos	5
Sistema Mecánico de Manejo de Residuos: Volteadores, Triturador, Faja Transportadora	3
Total	23

Fuente: Elaboración propia.

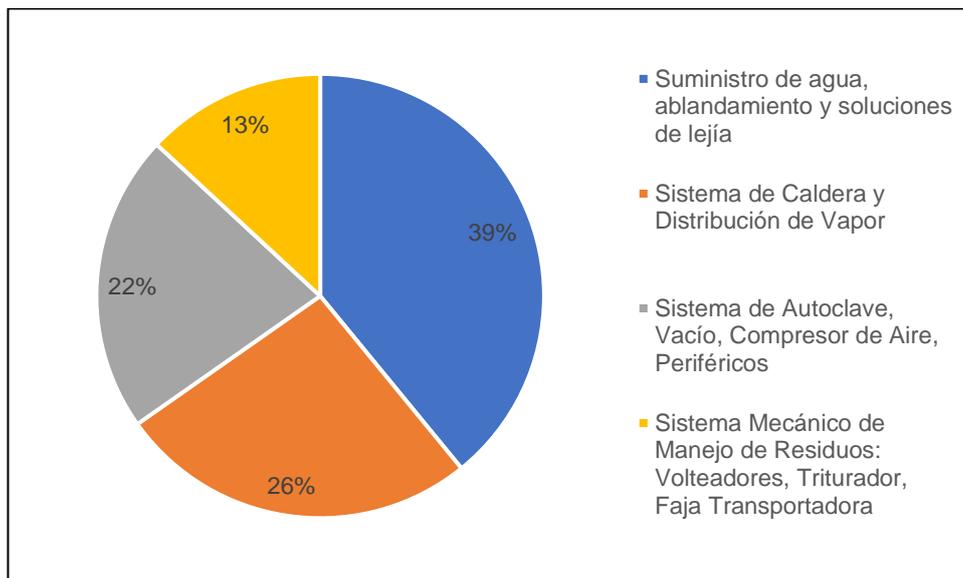


Figura 15. Nodos identificados en los procesos del tratamiento de residuos sólidos del AIJC.

Como se puede observar, en el suministro de agua, ablandamiento y solución de lejía se encuentra la mayor cantidad de nodos, con nueve nodos de 23 identificados representando el 39% del total; seguido del sistema de caldera y distribución de vapor con seis nodos, representando 26%; mientras que, en el sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos se identificaron cinco nodos, representando el 22%; y por último, en el sistema mecánico se identificaron tres nodos, representando el 13%.

CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se realizó la identificación y análisis de los riesgos operativos de los procesos llevados a cabo para el tratamiento de residuos sólidos del AIJC.

5.1. Selección de los parámetros por procesos

Para la selección de los parámetros, estos deben cumplir con los requerimientos de las infraestructuras y las zonas donde se elabora el análisis HAZOP.

A continuación, se presentan los nodos con la intención de diseño o parámetro de funcionamiento adecuado para cada uno de ellos.

5.1.1. Identificación de parámetros del sistema de suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía

Tabla 22. Parámetros seleccionados para cada nodo en el Sistema de Suministro de Agua.

Nro.	Nodo	Parámetros
1	Inicio de ciclo	Máxima presión de trabajo
2	Llenado del tanque	Máximo caudal de llenado en el tanque
3	Descarga	Presión de descarga

Fuente: Elaboración propia.

En relación al sistema de suministro de agua, se identificaron tres parámetros de los cuales se deriva la intención de diseño. En la figura 16 se muestra el esquema que relaciona el nodo inicio del ciclo, su parámetro y su intención de diseño.

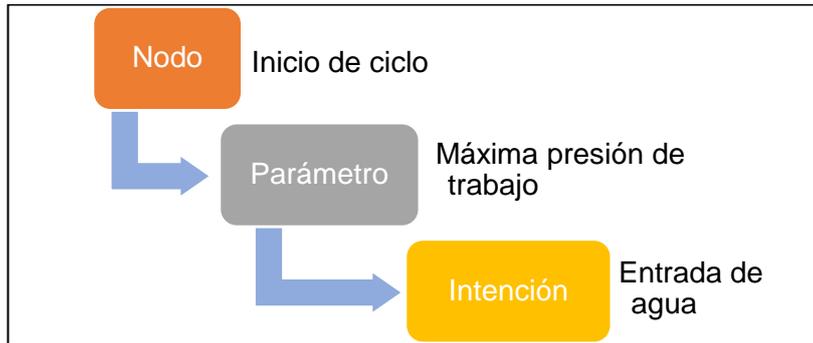


Figura 16. Intención de diseño para el nodo de inicio de ciclo.

En la figura 17 se muestra el esquema que relaciona el nodo de llenado del tanque, su parámetro y su intención de diseño.

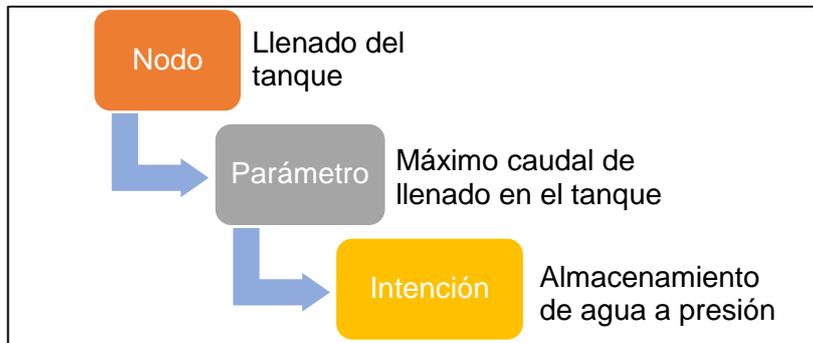


Figura 17. Intención de diseño para el nodo llenado de tanque.

En la figura 18 se muestra el esquema que relaciona el nodo de descarga, su parámetro y su intención de diseño.

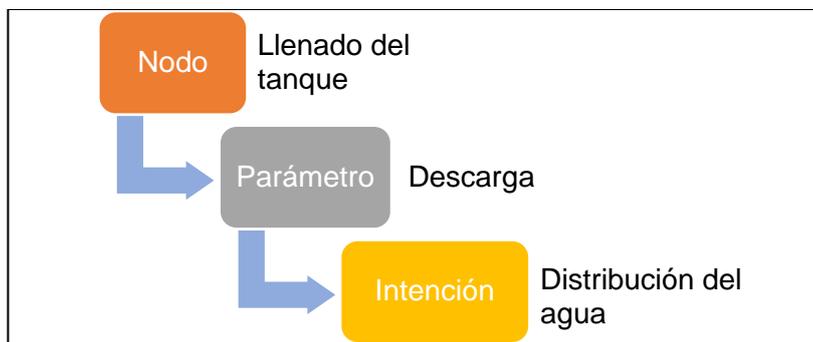


Figura 18. Intención de diseño para el nodo descarga.

Tabla 23. Parámetros seleccionados para cada nodo en el proceso operativo de ablandamiento.

Nro.	Nodo	Parámetros
1	Ablandador	Caudal del Ablandador
2	Lavado en contracorriente	Capacidad de Intercambio
3	Regeneración	Tiempo de regeneración

Fuente: Elaboración propia.

En relación al proceso operativo de ablandamiento, se identificaron tres parámetros de los cuales se deriva la intención de diseño. En la figura 19 se muestra el esquema que relaciona el nodo ablandador, su parámetro y su intención de diseño.

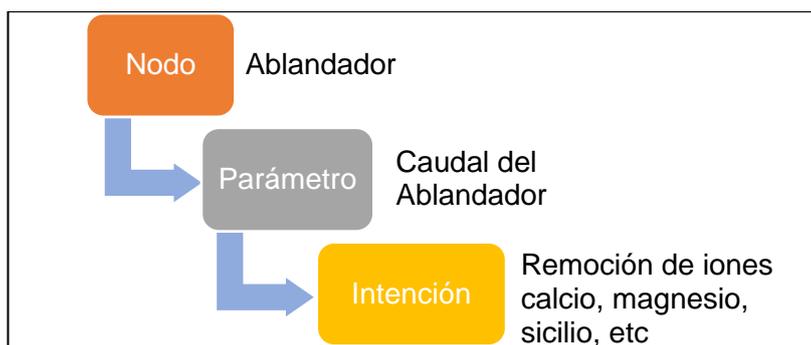


Figura 19. Intención de diseño para el nodo ablandador.

En la figura 20 se muestra el esquema que relaciona el nodo Lavado en contracorriente, su parámetro y su intención de diseño.

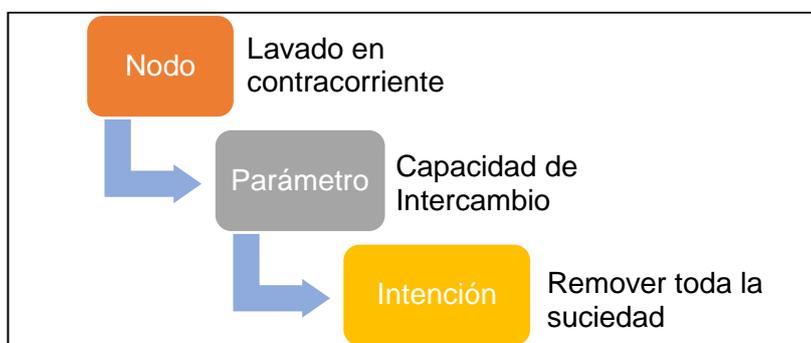


Figura 20. Intención de diseño para el nodo lavado de tanque.

En la figura 21 se muestra el esquema que relaciona el nodo de descarga, su parámetro y su intención de diseño.

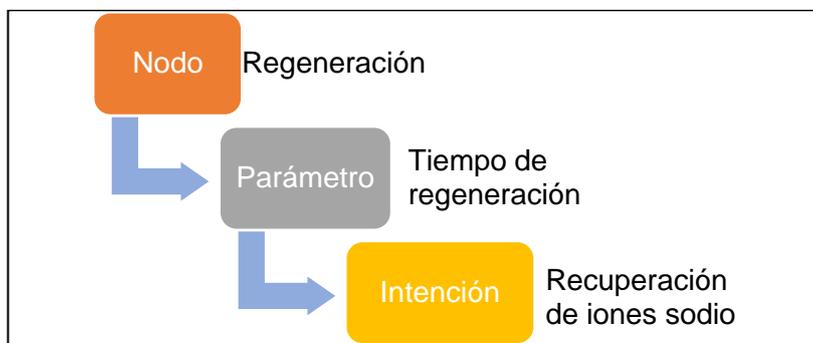


Figura 21. Intención de diseño para el nodo descarga.

Tabla 24. Parámetros seleccionados para cada nodo proceso operativo del suministro de solución de lejía.

Nro.	Nodo	Parámetros
1	Tanque de almacenamiento	Capacidad
2	Circuito de llenado	Gasto
3	Línea de suministro	Potencia

Fuente: Elaboración propia.

En relación al proceso operativo de suministro de solución de lejía, se identificaron tres parámetros de los cuales se deriva la intención de diseño. En la figura 22 se muestra el esquema que relaciona el nodo tanque de almacenamiento, su parámetro y su intención de diseño.

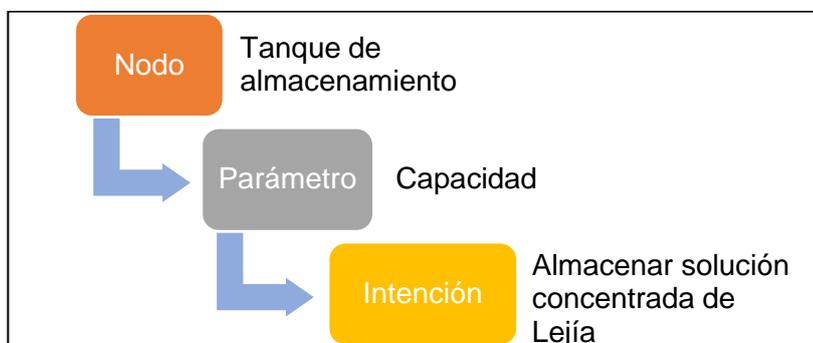


Figura 22. Intención de diseño para el nodo tanque de almacenamiento.

En la figura 23 se muestra el esquema que relaciona el nodo circuito de llenado, su parámetro y su intención de diseño.

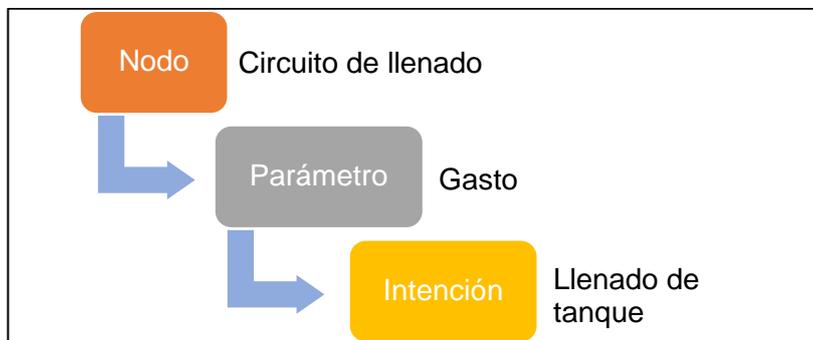


Figura 23. Intención de diseño para el nodo circuito de llenado.

En la figura 24 se muestra el esquema que relaciona el nodo de descarga, su parámetro y su intención de diseño.

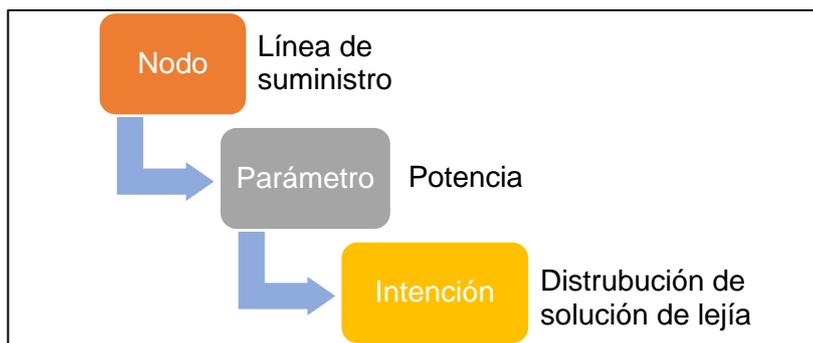


Figura 24. Intención de diseño para el nodo descarga.

5.1.2. Identificación de parámetros del sistema de caldera y distribución de vapor

Tabla 25. *Parámetros seleccionados para cada nodo del sistema de caldera y distribución de vapor.*

Nro.	Nodo	Parámetros
1	Interior de la caldera	Potencia, presión de trabajo y nivel de agua
2	Alimentación de agua a calentar	Dureza del agua, purga de agua

3	Línea de suministro de combustible GLP	de Presión, caudal
4	Línea de suministro de aire	Presión
5	Línea de distribución de vapor	Presión
6	Línea de retorno de condensado	Agua de condensación

Fuente: Elaboración propia.

En relación al sistema de caldera y distribución de vapor, se identificaron seis parámetros de los cuales se deriva la intención de diseño. En la figura 25 se muestra el esquema que relaciona el nodo interior de la caldera, sus parámetros y sus intenciones de diseño.

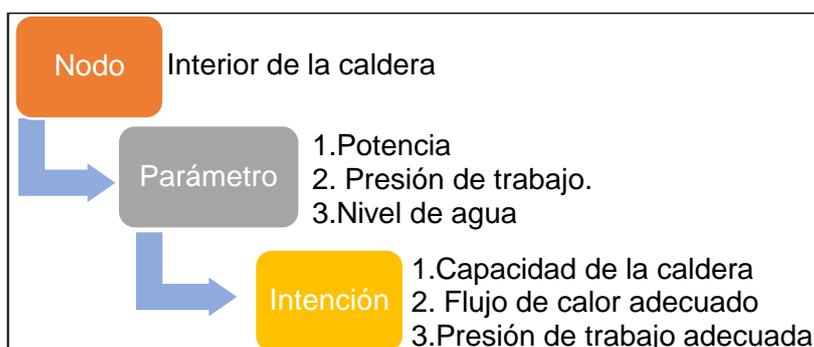


Figura 25. Intención de diseño para el nodo interior de la caldera.

En la figura 26 se muestra el esquema que relaciona el nodo alimentación de agua a calentar, sus parámetros y sus intenciones de diseño.

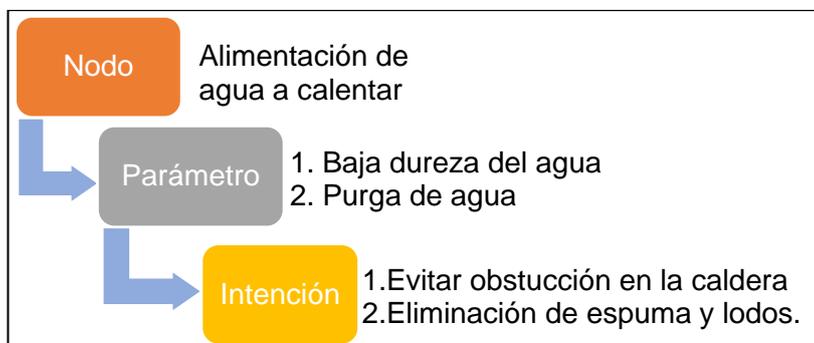


Figura 26. Intención de diseño para el nodo alimentación de agua a calentar.

En la figura 27 se muestra el esquema que relaciona el nodo de línea de suministro de combustible GLP, sus parámetros y sus intenciones de diseño.

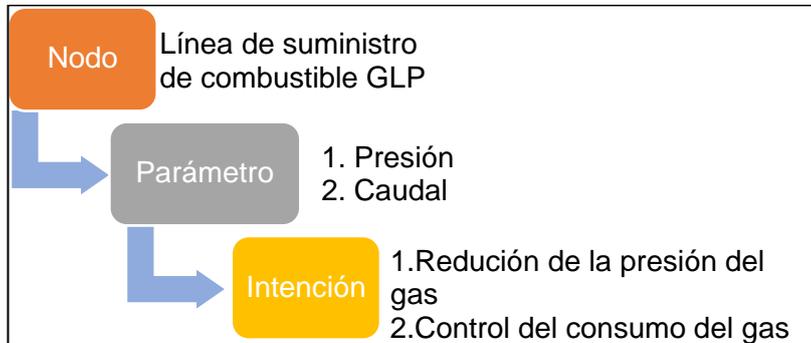


Figura 27. *Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de combustible GLP.*

En la figura 28 se muestra el esquema que relaciona el nodo de suministro de aire, su parámetro y su intención de diseño.

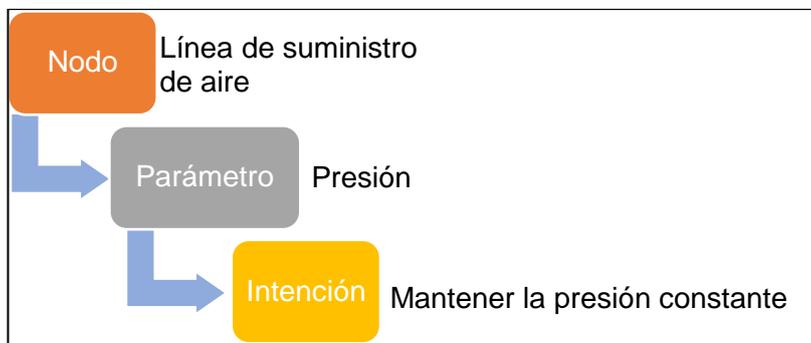


Figura 28. *Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de aire.*

En la figura 29 se muestra el esquema que relaciona el nodo de línea de distribución de vapor, su parámetro y su intención de diseño.

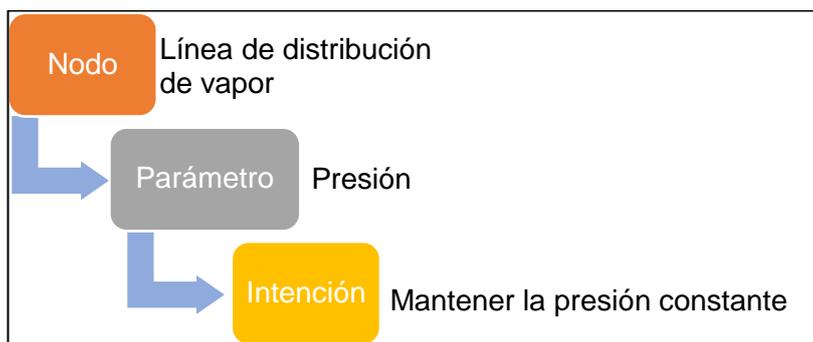


Figura 29. *Intención de diseño para el nodo de línea de distribución de vapor.*

En la figura 30 se muestra el esquema que relaciona el nodo de línea de retorno de condensado, su parámetro y su intención de diseño.

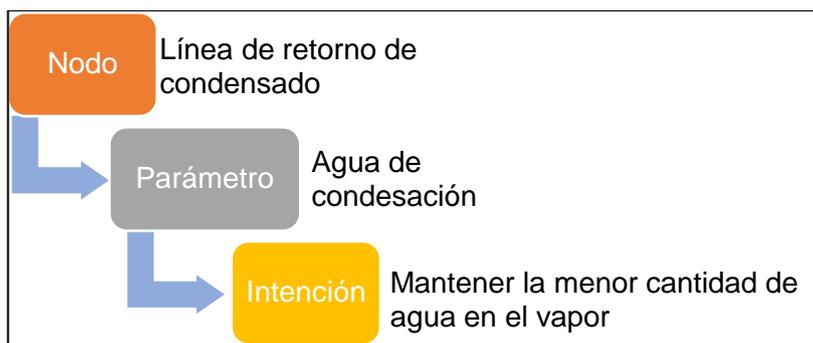


Figura 30. *Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de aire.*

5.1.3. Identificación de parámetros del sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos

Tabla 26. *Parámetros seleccionados para cada nodo del Sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos.*

Nro.	Nodo	Parámetros
1	Vacío	Presión de descarga
2	Alimentación de vapor	Presión de vapor de operación.
3	Esterilización	Presión y temperatura

4	Línea de suministro de aire para enfriado	Presión
5	Inyección del líquido desodorizador.	Peso

Fuente: elaboración propia.

En relación al sistema autoclave, vacío, compresor de aire, periféricos, se identificaron cinco parámetros de los cuales se deriva la intención de diseño. En la figura 31 se muestra el esquema que relaciona el nodo vacío, su parámetro y su intención de diseño.

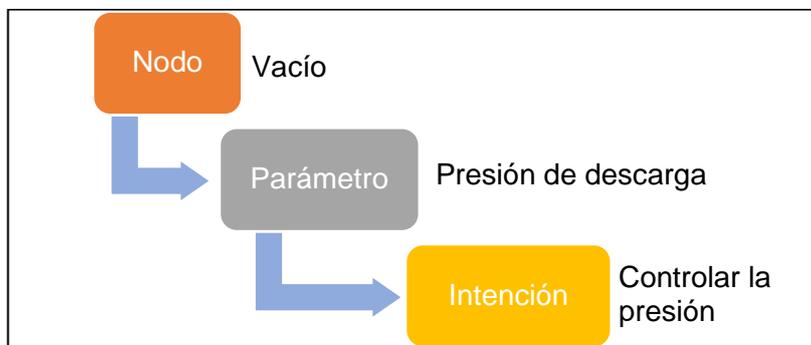


Figura 31. Intención de diseño para el nodo de vacío.

En la figura 32 se muestra el esquema que relaciona el nodo alimentación de vapor, sus parámetros y sus intenciones de diseño.

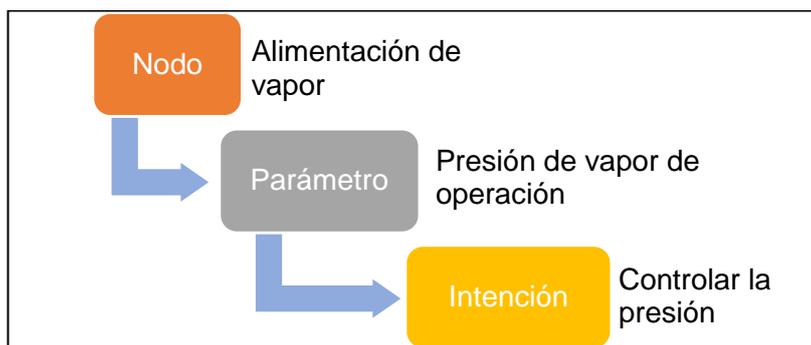


Figura 32. Intención de diseño para el nodo alimentación de vapor.

En la figura 33 se muestra el esquema que relaciona el nodo de esterilización, sus parámetros y sus intenciones de diseño.

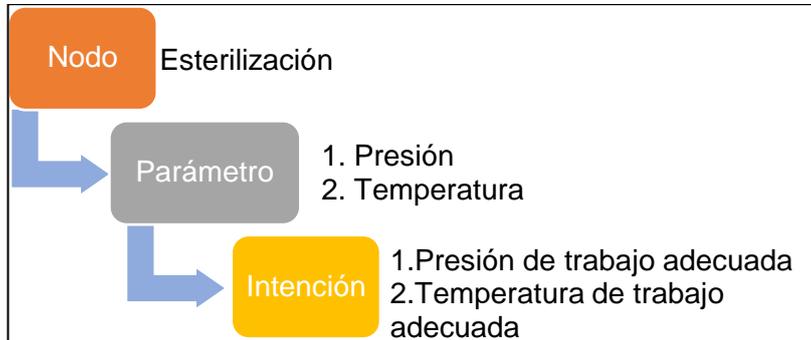


Figura 33. *Intención de diseño para el nodo de esterilización.*

En la figura 34 se muestra el esquema que relaciona el nodo de línea de suministro de aire para enfriado, su parámetro y su intención de diseño.

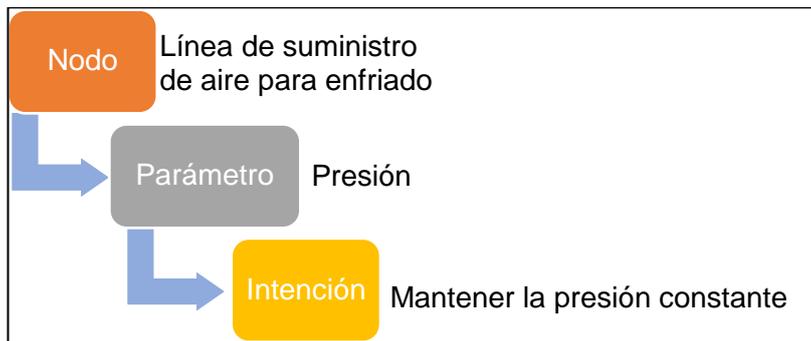


Figura 34. *Intención de diseño para el nodo de línea de suministro de aire para enfriado.*

En la figura 35 se muestra el esquema que relaciona el nodo de inyección del líquido desodorizador., su parámetro y su intención de diseño.

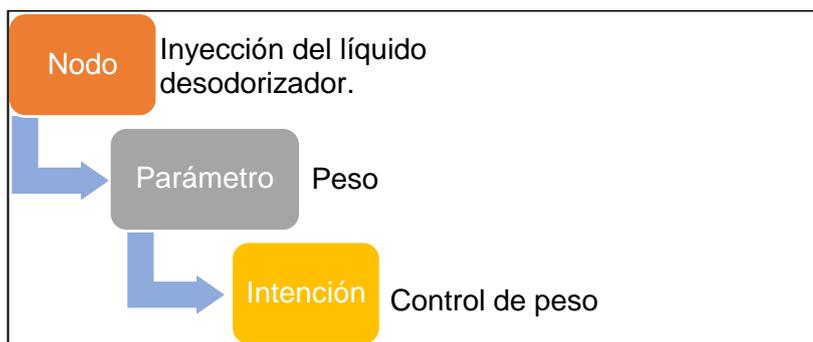


Figura 35. *Intención de diseño para el nodo de Inyección del líquido desodorizador.*

5.1.4. Identificación de parámetros del sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora

Tabla 27. *Parámetros seleccionados para cada nodo del proceso del sistema mecánico de manejo de residuos.*

Nro.	Nodo	Parámetros
1	Alimentación hidráulica	Potencia
2	Capacidad	Peso
3	Triturador	Velocidad del rotor

Fuente: Elaboración propia.

En relación al sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora, se identificaron tres parámetros de los cuales se deriva la intención de diseño. En la figura 36 se muestra el esquema que relaciona el nodo alimentación hidráulica, su parámetro y su intención de diseño.

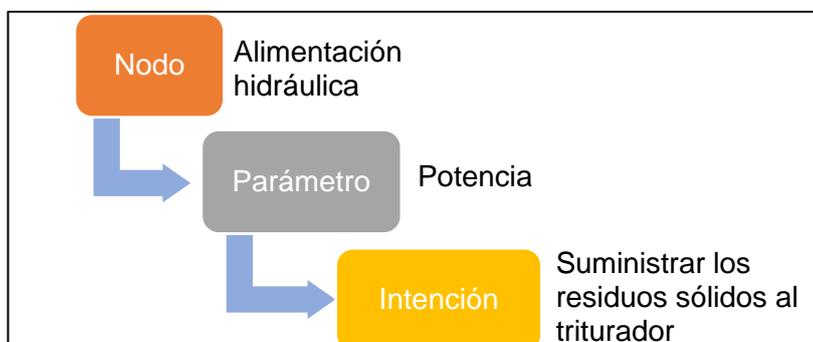


Figura 36. *Intención de diseño para el nodo de alimentación hidráulica.*

En la figura 37 se muestra el esquema que relaciona el nodo alimentación de vapor, sus parámetros y sus intenciones de diseño.

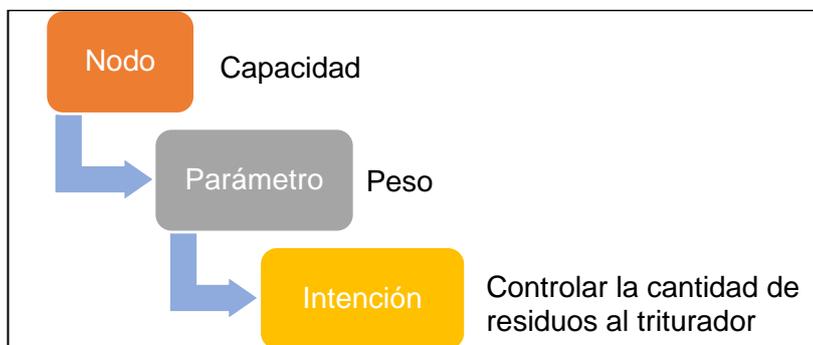


Figura 37. Intención de diseño para el nodo capacidad.

En la figura 38 se muestra el esquema que relaciona el nodo triturador, sus parámetros y sus intenciones de diseño.

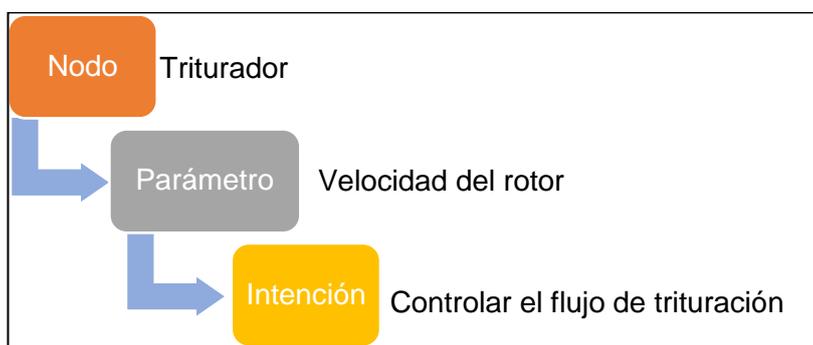


Figura 38. Intención de diseño para el nodo de esterilización.

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros identificados en los procesos de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Tabla 28. *Nodos de los procesos de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.*

Procesos	Cantidad de parámetros identificados
Suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía	9

Sistema de Caldera y Distribución de Vapor	10
Sistema de Autoclave, Vacío, Compresor de Aire, Periféricos	6
Sistema Mecánico de Manejo de Residuos: Volteadores, Triturador, Faja Transportadora	3
Total	28

Fuente: Elaboración propia.

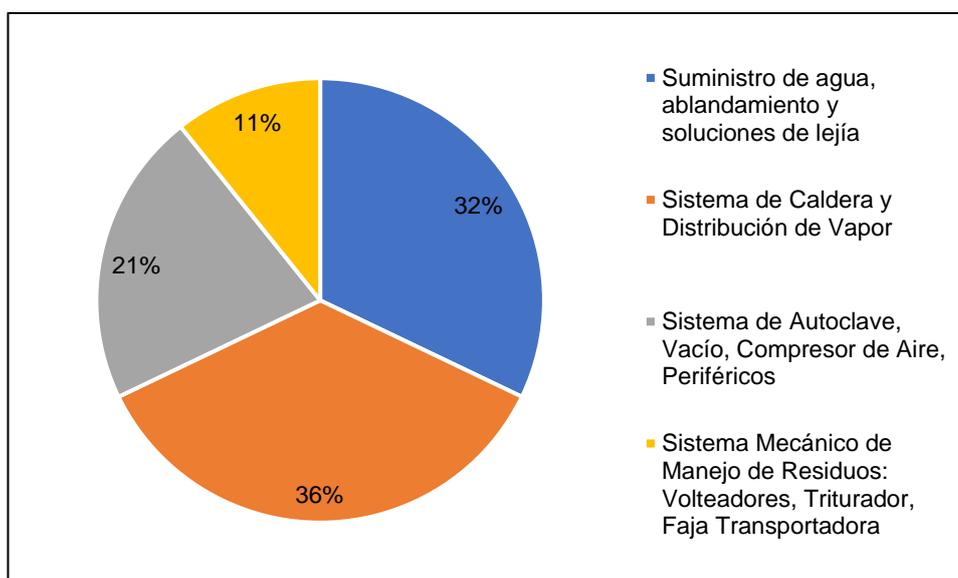


Figura 39. *Parámetros identificados en los procesos del tratamiento de residuos sólidos del AIJC.*

Como se puede observar, se identificó un total de 28 parámetros, los cuales se distribuyen en el sistema de caldera y distribución de vapor donde se identificaron 10 parámetros, representando el 36% del total; seguido del sistema de suministro de agua, ablandamiento y solución de lejía con nueve parámetros, representando 32%; mientras que, en el sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos se identificaron seis parámetros, representando el 21%; y por último, en el sistema mecánico se identificaron tres parámetros, representando el 11%.

5.2. Selección de las palabras guías y las posibles desviaciones en cada nodo en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.

Para los nodos determinados se plantearon las probables desviaciones en relación a los parámetros de operación normales de los sistemas, además de su intención de diseño. La obtención de estas desviaciones surge de la suma de los parámetros específicos de los procesos con la aplicación de cada palabra guía, esto permitirá conocer los posibles riesgos para los colaboradores, la maquinaria, la infraestructura y el medio ambiente.

5.2.1. Desviaciones de los nodos del sistema de suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía.

A continuación, en la tabla 29, se describen las desviaciones obtenidas para el sistema de suministro de agua, ablandamiento y soluciones de lejía.

Tabla 29. Desviaciones obtenidas de los nodos del sistema de suministro de agua.

Nodo	Parámetros	Palabra guía	Desviación
1	Máxima presión de trabajo	Más	Presión de trabajo mayor a la deseada
2	Máximo caudal de llenado en el tanque	No	No se controla el caudal de llenado
3	Presión de descarga	Más	La presión de descarga es muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Desviaciones obtenidas de los nodos del proceso operativo de ablandamiento.

Nodo	Parámetros	Palabra guía	Desviación
------	------------	--------------	------------

1	Caudal del Ablandador	Más	La velocidad del flujo es mayor a la deseada
2	Capacidad de Intercambio	Más	La concentración de iones es muy elevada.
3	Tiempo de regeneración	No	No se cumple con el tiempo para lograr la regeneración de la resina

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. *Desviaciones obtenidas de los nodos del proceso operativo del suministro de solución de lejía.*

Nodo	Parámetros	Palabras guía	Desviación
1	Capacidad	No	No se prepara toda la solución de lejía necesaria
2	Gasto	No	No se realiza mantenimiento a las bombas centrífugas
3	Potencia	menos	El suministro de solución de lejía está por debajo de lo deseado

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Desviaciones de los nodos del sistema de caldera y distribución de vapor

Tabla 32. *Desviaciones obtenidas de los nodos sistema de caldera y distribución de vapor*

Nodo	Parámetros	Palabras guía	Desviación
1	Potencia	No	No está cumpliendo con el valor establecido.
	Capacidad calórica	No	No está cumpliendo con el valor establecido.
	Presión de trabajo	Más	Más presión de la permitida.
2	Dureza del agua	Más	Elevada concentración de iones causante de incrustaciones.
	Purga de agua	Menos	Las purgas se efectúan en menor cantidad de las

			recomendadas.
3	Presión	Más	La presión está por encima del valor deseado
	Caudal	No	No se controla el caudal del gas
4	Presión	Más	La presión es mayor a la requerida
5	Presión	Más	La presión del vapor es mayor a la requerida
6	Agua de condensación	No	No se controla el agua de condensación

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Desviaciones de los nodos del sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos

Tabla 33. Desviaciones obtenidas de los nodos del sistema autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos

Nodo	Parámetros	Palabras guía	Desviación
1	Presión de descarga	Además de	No se alcanza la presión requerida.
2	Presión de vapor de operación.	Menos	La presión de vapor no es la requerida
3	Presión	Más	La presión del sistema es más alta de la requerida
	Temperatura	Menos	La temperatura es menor a la requerida
4	Presión	Menos	La presión de aire no es la requerida
5	Peso	No	No se controla el peso del líquido desodorizador

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4. Desviaciones de los nodos del sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora

Tabla 34. Desviaciones obtenidas de los nodos del sistema mecánico de manejo de residuos: volteadores, triturador y faja transportadora.

Nodo	Parámetros	Palabras guía	Desviaciones
1	Potencia	No	No está cumpliendo con el valor establecido.
2	Peso	Más	Se excede el peso máximo permitido
3	Velocidad del rotor	Menos	Baja velocidad de rotación de la trituradora.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta un resumen de las palabras guía empleadas para detectar desviaciones en los procesos de tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Tabla 35. *Palabras guías empleadas para la detección de desviaciones*

Palabras clave	Cantidad
No	10
Más	11
Menos	6
Además de	1

Fuente: Elaboración propia.

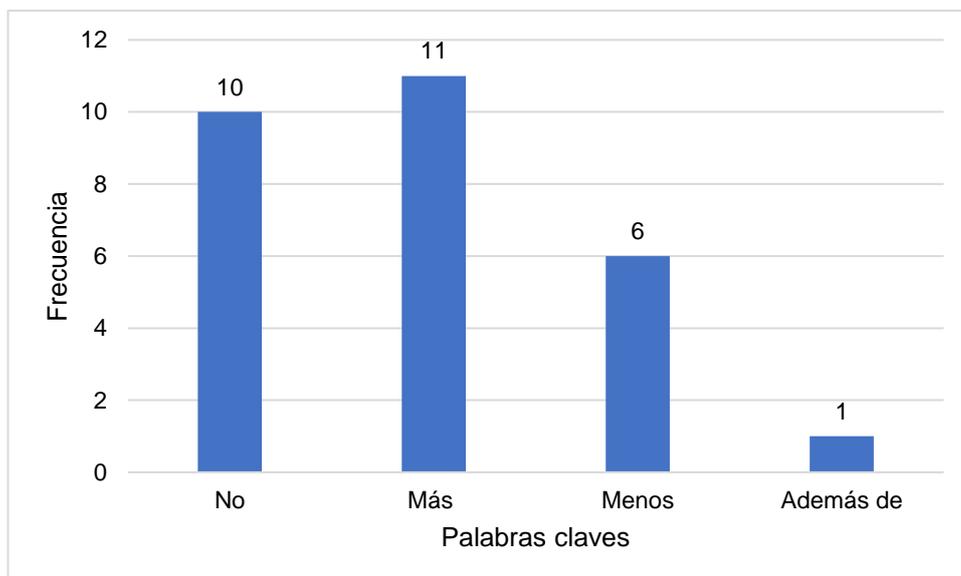


Figura 40. Periodicidad de las palabras claves empleadas para la detección de desviaciones.

Como se puede observar en la figura 40, la palabra guía que más se repite es No (Negación completa de la intención del diseño) con un total de 10 repeticiones demostrando que, varios de los nodos identificados son operados sin cumplirse las intenciones de diseños recomendadas por los fabricantes de los equipos para el buen funcionamiento de estos. La siguiente palabra que se repite es Más (Aumento cuantitativo), con un total de 11 repeticiones, permitiendo conocer que existe equipos que están siendo operados con parámetros mayores a los permitidos, lo que origina riesgos a la integridad mecánica y del personal. Luego se presenta la palabra menos (Disminución cuantitativa) con seis repeticiones, siendo evidencia de que se operan equipos con parámetros por debajo de lo recomendados. Finalmente, la palabra además de (Sustitución completa) se empleó una sola vez, lo que quiere decir, que es necesario realizar un cambio en la operación de ese equipo.

5.3. Determinación de los peligros en el proceso de tratamiento de residuos sólidos del AIJC.

Tabla 36. Evaluación de los peligros en los procesos del tratamiento de residuos sólidos

Proceso	Nodo	Parámetro	Desviación	Posible causa	Consecuencias	Salvaguardas	P	S	R
Suministro de agua	1	Máxima presión de trabajo	Presión de trabajo mayor a la deseada	No se mide la presión a la entrada de tanque	1. Rotura de la ventosa 2. Desajuste de presostato 3. Falla en el ciclo (funcionamiento constante)	1. Revisión de la válvula de precarga 2. Ajuste adecuadamente la tapa de válvula de aire 3. Instale una válvula de alivio	L3	C3	9
	2	Máximo caudal de llenado en el tanque	No se controla el caudal de llenado	No se cuenta con un contador	1. Perdida de agua 2. Cantidad excesiva de arranque del motor	1. Empleo de bombas accionadas mediante variador de frecuencia	L2	C2	4
	3	Presión de descarga	La presión de descarga es muy alta	No se mide la presión de salida	1. Suministrar exceso de fluido al ablandador	1. Emplear válvula reguladora de caudal	L2	C2	4
Proceso operativo de ablandamiento	1	Caudal del Ablandador	La velocidad del flujo es mayor a la deseada	No se controla el caudal de entrada al ablandador	1. Perdida de resina	1. Contador de caudal	L4	C4	16

2	Capacidad de Intercambio	La concentración de iones es muy elevada.	No se realiza periódicamente la regeneración de la resina	Se suministra agua con concentraciones elevadas de iones que originan incrustaciones en la caldera	1. Medir con mayor frecuencia la dureza del agua 2. Instalar un sistema multiválvulas para orientar el sentido de flujo para dar inicio a la regeneración de la resina 3. Mantener el nivel de sal que se requiere en el tanque de salmuera	L4	C4	16
3	Tiempo de regeneración	No se cumple con el tiempo para lograr la regeneración de la resina	No se controla el tiempo para lograr la regeneración de la resina requerida	Elevada concentración de iones causante de incrustaciones en la caldera	1. Colocar un temporizador para estandarizar el inicio del ciclo de Retrolavado, Regeneración, Enjuague lento, Enjuague rápido y reiniciar el nuevo Servicio de ablandamiento	L4	C4	16

Suministro de solución de lejía	1	Capacidad	No se prepara toda la solución de lejía necesaria	1. No se emplea la cantidad de lejía requerida 2. No se controla el llenado del tanque adecuadamente	1. Contaminación de carros 2. Contaminación de almacén de residuos sólidos	1. Controlar la capacidad del tanque de almacenamiento de lejía 2. Controlar el stock de hipoclorito de sodio para disponer de la cantidad adecuada.	L2	C2	4
	2	Gasto	No se realiza mantenimiento a las bombas centrífugas	1. No existe una programación de mantenimiento 2. No se dispone de personal calificado para realizar el mantenimiento	1. Desgaste de los rodamientos 2. Baja velocidad de la moto	1. Realizar mantenimiento preventivo programada de la bomba	L3	C2	6
	3	Potencia	El suministro de solución de lejía está por debajo de lo deseado	La bomba desarrolla menos flujo de lo esperado	1. Pérdida de líquido a través de la empaquetadura 2. Recirculación del líquido a través de los anillos de desgaste.	1. Realizar mantenimiento preventivo programada de la bomba 2. Realizar lavado del tanque de almacenamiento para eliminar	L3	C2	6

Sistema de caldera y distribución de vapor.	1	Potencia	No está cumpliendo con el valor establecido.	1.Descalibración del presostato 2. Falta de mantenimiento del interior de la caldera	3. Posible obstrucción en la línea de succión o descarga. 1. Incremento de la presión en el interior de la caldera 2. Posibilidad de explosión	lodos residuales 1. Control de la presión en el interior de la caldera 2. Mantenimiento del interior de la caldera	L3	C3	9
		Presión de trabajo	Más presión de la permitida.	Descalibración del Control Limitador de Presión de Operación	Posible explosión de las tuberías de vapor de agua	1. Mantenimiento del control limitador de presión de operación	L3	C4	12
		Nivel de agua	No está cumpliendo con el valor establecido.	Atoramiento de los tubos del control de nivel por flotador, quedando la boya atascada	1. Los tubos y el hogar se recalientan al rojo vivo 2. Conversión brusca del agua en vapor originando elevada presión hasta niveles destructivos	1. Establecer procedimiento para el control del nivel de agua 2. Implementar un control de nivel auxiliar Warrick, que se accionará cuando el control de flotador falla, protegiendo la caldera por bajo nivel de agua apagando el quemador	L3	C4	12

2	Dureza del agua	Elevada concentración de iones causante de incrustaciones.	Falla en la remoción de iones en el ablandador	Incrustaciones en la caldera	1. Monitoreo del agua de alimentación de la caldera	L4	C4	16
	Purga de agua	Las purgas se efectúan en menor cantidad de las recomendadas.	No se cuenta con un programa de purgas frecuentes, basado en la experimentación y análisis de las condiciones del agua de alimentación y del agua interna	1. Fallas en el control de nivel del agua. 2. Corrosión de los tubos de la caldera por efecto del oxígeno disuelto. 3. Formación de exceso de incrustaciones 4. Formación de excesos de lodos	1. Realizar purga de superficie programada 2. Realizar purga de fondo programada 3. Tratamiento interno del agua con dos productos químicos	L4	C4	16
3	Presión	La presión está por encima del valor deseado	1. Falla en la electroválvula (solenoides) del tren de gas 2. Se debe a la demanda de vapor o caída de la presión de vapor, por lo que el sistema incrementa la presión del gas	Exceso de gas combustible que puede originar explosión	1. Realizar una pre-purga y pos-purga para el barrido adecuado del gas acumulado en el hogar de la caldera	L2	C5	10

	Caudal	No se controla el caudal del gas	El quemador se "bloquea" en fuego alto o al aproximarse a fuego alto.	1. El filtro de gas está sucio o hay agua en la tubería. 2. Hay inestabilidad debido a que los ajustes de combustión son incorrectos.	1. Realizar mantenimiento del filtro de gas y la tubería	L2	C5	10
4	Presión	La presión es mayor a la requerida	No se controla la presión de aire	Consumo mayor de combustible para calentar aire en exceso	Ajustar de la posición de las varillas de apertura de la válvula de gas y de la compuerta de la admisión del ventilador de aire del quemador	L4	C3	12
5	Presión	La presión del vapor es mayor a la requerida	Falta de mantenimiento de la válvula de alivio	Posible explosión de las tuberías de vapor de agua	Realizar la limpieza de la válvula de alivio	L3	C4	12

	6	Agua de condensación	No se controla el agua de condensación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Altas concentraciones de sólidos en la caldera debido a falta de purga. 2. Falta de tratamiento adecuado del agua de alimentación. 3. Una línea de vapor muy pequeña en la boquilla (tobera) de la caldera que causa velocidades de vapor excesivas que "sacan" el agua de la caldera. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quejas del operador de la autoclave relacionadas con "falta de vapor". 2. Tiempo excesivo de "bombeo". 3. Golpe de ariete (golpeteo) en las líneas de vapor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eliminación de los sólidos (lodos) del interior de la caldera. 2. Realizar mantenimiento al ablandador de agua. 	L3	C2	6
Sistema de autoclave, vacío, compresor de	1	Presión de descarga	No se alcanza la presión requerida	Bloqueo de la corriente de aire en la salida.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla de la bomba de vacío 2. No se genera pre-vacío 	Mantenimiento de los componentes de la bomba de vacío	L3	C2	6

aire y periféricos	2	Presión de vapor de operación.	La presión de vapor no es la requerida	1. Falla del manómetro 2. Exceso de humedad en el vapor 3. Falla de la válvula de seguridad de Ingreso de vapor	No se logra la esterilización correcta de los residuos sólidos	Mejorar la calidad del vapor	L3	C2	6
	3	Presión	La presión del sistema es más alta de la requerida	1. Falla del sensor de presión 2. Exceso de humedad en el vapor 3. Falla de la válvula de seguridad de Ingreso de vapor	No se logra la esterilización correcta de los residuos sólidos	1. Calibrar el sensor de presión 2. Mejorar la calidad del vapor	L3	C4	12
		Temperatura	La temperatura es menor a la requerida	Falla en el sensor de temperatura	No se logra la esterilización correcta de los residuos sólidos	Calibrar el sensor de temperatura.	L3	C4	12
	4	Presión	La presión de aire no es la requerida	1. No se realiza la limpieza de filtro de aire 2. No se ajusta la tensión de la faja	1. Mayor tiempo requerido para el enfriamiento 2. Falla del compresor	Mantenimiento de los componentes del compresor	L2	C2	4

	5	Peso	No se controla el peso del líquido desodorizador	No se realiza la verificación periódica del nivel del líquido desodorizador	1. Formación de flóculos (sólidos) que pueden obstruir el compresor y no operar correctamente el equipo. 2. El compresor puede succionar aire porque la galonera con líquido desodorizador está vacía.	Realizar la verificación de la cantidad de líquido que se encuentra en el interior, así como la formación de grumos	L3	C2	6
Sistema Mecánico de Manejo de Residuos.	1	Potencia	No está cumpliendo con el valor establecido.	El nivel de líquido de lubricante está por debajo de $\frac{3}{4}$ del nivel del tanque.	1. El pistón con la barra del elevador subirán lentamente 2. Desgaste del cilindro volteador	Controlar el nivel de líquido de lubricante en el tanque	L3	C2	6
	2	Peso	Se excede el peso máximo permitido	No se controla el peso de los residuos sólidos esterilizados	1. La máquina tiene una fuerte vibración 2. La transmisión principal va en reversa con frecuencia	1. Controlar el peso de los residuos sólidos 2. Alinear la maquina con un nivel de burbuja. La flaca del suelo debe ser absolutamente pareja.	L3	C2	6

3	Velocidad del rotor	Baja velocidad de rotación de la trituradora.	<ol style="list-style-type: none"> 1. La temperatura de Rotor exceda los 70°C 2. Fuga de lubricante 3. Nivel de los residuos excede 1 m de la tolva. 	1. Puede ocurrir un incendio	<ol style="list-style-type: none"> 3. Desgaste prematuro de la cortadora y cuchilla auxiliar 1. Revise Lubricación. 2. Reemplace el sello del filtro, limpie el soporte, insértelo con grasa. 3. Revise el ensamblaje de la unidad de soporte. 	L3	C5	15
---	---------------------	---	---	------------------------------	--	----	----	----

Fuente: Elaboración propia. P: Probabilidad, S: Severidad, R: Riesgo.

Como se pudo observar en la tabla 36, de los parámetros encontrados, se obtuvo que seis representan un riesgo intolerable, asimismo ocho representan un riesgo indeseable, 10 representan un riesgo aceptable con control y cuatro representan un riesgo razonablemente aceptable para el tratamiento de residuos sólidos (Ver Tabla 37).

Tabla 37. *Resumen de la cantidad de riesgo determinado para el tratamiento de residuos sólidos del AIJC*

Tipo de riesgo	Cantidad de parámetros
Intolerable	6
Indeseable	8
Aceptable con control	10
Razonablemente aceptable	4

Fuente: Elaboración propia.

Para los riesgos intolerables, indeseables y aceptables con control se proponen recomendaciones para reducir su impacto.

5.4. Recomendaciones de posibles salvaguardas HAZOP basadas en la metodología para disminuir significativamente los riesgos analizados

A continuación, se presenta el listado de recomendaciones para cada uno de los riesgos encontrado, a excepción de los riesgos razonablemente aceptable.

Tabla 38. Recomendaciones para la disminución de los riesgos analizados

Proceso	Nodo	Parámetro	R	Recomendación
Suministro de agua	1	Máxima presión de trabajo	9	1. Revisar el estado del manómetro, de las válvulas. 2. Verificar la presión de Precarga del Tanque Hidroneumático, si la presión no es la predefinida: 18 PSI, mandar llamar al servicio técnico.
	2	Máximo caudal de llenado en el tanque	4	
	3	Presión de descarga	4	
Proceso operativo de ablandamiento	1	Caudal del Ablandador	16	1. Revise la presión de agua de la línea principal. El ablandador está diseñado para una presión de trabajo mínima de 30 PSI y una presión de trabajo máxima de 120 PSI. Si la línea de presión excede estos límites coloque un reductor de presión. 2. Reemplace el tubo de distribución. 3. Conecte apropiadamente la conexión entrada/salida
	2	Capacidad de Intercambio	16	1. Asegurarse que el servicio eléctrico sea permanente. 2. Añada sal al tanque de salmuera y mantenga el nivel de la sal arriba del nivel de agua. 3. Verifique el tiempo de llenado del tanque de salmuera y limpie la línea de control de flujo de la salmuera si esta obstruida
	3	Tiempo de regeneración	16	1. Colocar un temporizador
Suministro de solución de lejía	1	Capacidad	4	
	2	Gasto	6	1. Mantenimiento de las Bombas, sobre todo del rodaje, retenes, sellos o empaquetaduras, eje de la bobina.

	3	Potencia	6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpieza del Tanque 2. Si se llega a verificar que hay fuga en las conexiones o se observa un mal funcionamiento de la pistola spray, se debe pensar en reemplazarlo
	1	Potencia	9	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar el lado de agua de la caldera. Una vez que la caldera esté fría se debe drenar por completo, abrir los registros de inspección de mano y el registro de inspección de hombre y lavar bien con agua a presión, verificando que toda la incrustación y sedimentos sean removidos del interior de la caldera
		Presión de trabajo	12	<ol style="list-style-type: none"> 1. La cubierta del control debe estar en su lugar todo el tiempo para proteger los componentes internos del polvo, humedad y daño físico. 2. El mantenimiento consiste de una inspección ocasional y de una limpieza con chorro de aire o brocha para remover suciedad. 3. Para asegurar un adecuado funcionamiento del controlador, realizar un chequeo operacional del dispositivo.
		Nivel de agua	12	<p>Prueba de control de nivel de agua:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estando el quemador funcionando se abrirá parcialmente la válvula de purga de la columna de nivel. Se irá observando constantemente el descenso de nivel en el tubo de vidrio. 2. Cuando el nivel haya descendido de 3 a 1 pulgada debajo de lo normal, deberá arrancar la bomba de agua y se pondrá en marcha nuevamente el quemador.

2	Dureza del agua	16	<p>1. El especialista en tratamiento de agua efectúa un estudio detallado del sistema y luego diseña un programa de tratamiento específico a la necesidad de la caldera</p> <p>2. Una vez que se implemente el programa, el especialista debe asegurar que el programa permanece efectivo por medio de visitas regulares a la planta con la finalidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprobar y registrar los parámetros del tratamiento. - Verificar el equipo de pretratamiento, alimentación química y control. - Inspeccionar todas las áreas del sistema de la Sala de Caldera. - Recomendar por escrito mejoras para el programa.
	Purga de agua	16	<p>1. Para el tratamiento químico se debe aplicar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Producto anticorrosivo (Sulfito): SK-95 - Producto antiincrustante (Fosfato): SCALFOS -L <p>2. Para verificar la corrosión por oxigenación drene la unidad y remueva las tapas de los registros para una inspección visual de los tubos, hogar, casco y placas por lo menos una vez al año</p> <p>3. inspección visual del borde interior del recipiente para obtener muestras de cualquier incrustación que se haya formado. De haber incrustaciones llame inmediatamente al especialista de tratamiento de agua para obtener asistencia</p> <p>4. De existir sedimento, lave con una manguera de alta presión la "cavidad" o parte inferior del casco de la caldera.</p>

3	Presión	10	1. Desarmar el quemador en su conjunto y realizar una limpieza general, eliminando polvo, suciedad, pelusas. Lubricar los bujes de la caja del d�mper periódicamente, utilizando preferentemente productos siliconados en aerosol, tipo WD40.
	Caudal	10	1. En el conjunto del cabezal de gas verifique que los tornillos que ajustan el cabezal de combustión est�n firmes. Limpie manualmente la tobera de gas, la pantalla difusora, la cerámica del electrodo de encendido y la varilla de ionización. Reemplácelos de ser necesario.
4	Presión	12	1. Colocar una válvula reguladora de presión
5	Presión	12	1. La prueba de apertura de la válvula de alivio debe realizarse cada 30 días o después de cada periodo de inactividad
6	Agua de condensación	6	1. Realizar inspección de sedimento y las incrustaciones ya que actúan como aislamiento, evitan el traspaso de calor y causan recalentamiento de los tubos y el hogar, pudiendo dilatarse demasiado y aflojarse de las placas, con la consiguiente fuga de agua. 2. Es importante que las tapas de los registros de mano tengan buen sello. Una mínima fuga causará que el metal de la caldera se corroa resultando en un asiento pobre para el empaque.

Sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos	1	Presión de descarga	6	<p>1. La bomba de vacío básicamente consta de cuatro partes, motor, la bomba de vacío, el recipiente de almacenamiento y el intercambiador de calor: Para el cambio de las piezas requiere ser realizado por personal técnico especializado, se deberá considerar como secuencia de desmontaje y cambio de piezas lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema de cañería, válvula check, válvulas strainer deberán ser desmontados girando en contra el sentido de las agujas del reloj. • El motor eléctrico será desmontado cuidadosamente removiendo los enclaves que lo sujetan al soporte principal y además desconectándolo del sistema eléctrico cuidando que el eje no se altere. • La bomba de vacío será removida del soporte principal.
	2	Presión de vapor de operación.	6	<p>1. Cojinetes de bisagra: lubricar dos veces al año; deben trabajar suavemente.</p> <p>2. Ajuste de la bisagra: sólo debe ser realizado por personal especializado.</p> <p>3. Cuñas de las puertas y anillo de bloqueo. Lubricar semanalmente.</p> <p>4. Reemplazo de empaquetadura de puertas: inspeccionar frecuentemente si hay desgaste. No aplicar lubricantes directamente a la empaquetadura.</p> <p>5. Malla de drenaje (ubicada en el piso de la autoclave): limpiar si está obstruida. Si sale demasiada agua al abrir la puerta al final del ciclo es indicación de que la malla del drenaje está obstruida.</p> <p>6. Filtro "Y" (ubicada en la línea de drenaje): sopletear semanalmente, abriendo la válvula de bola por 10 segundos durante el ciclo de esterilización. Limpiar la</p>

				<p>7. Limpieza: la unidad debe limpiarse completamente en el interior periódicamente.</p>
	3	Presión	12	1. Realizar el mantenimiento de la válvula de ingreso vapor
		Temperatura	12	1. Mantenimiento del sensor de temperatura
	4	Presión	4	
	5	Peso	6	<p>1. Revisión de la bomba de inyección: mensual.</p> <p>2. Revisión de la manguera de solución: semanal</p>
Sistema Mecánico de Manejo de Residuos.	1	Potencia	6	1. Ajustes, Calibración y Pruebas.
	2	Peso	6	<p>1. Ajustes, Calibración y Pruebas.</p> <p>2. Reemplazo de cortadora</p> <p>3. Reemplazo de cuchilla auxiliar</p>
	3	Velocidad del rotor	15	<p>1. Reparación del Rotor: Para toda reparación al rotor como soporte de rodamiento, renueva la caja de cambios, removiendo y reensamblando el rotor en sí mismo</p> <p>2. Limpiar los rieles guía y los casquillos extremos</p> <p>3. Revisar la velocidad de operación con la tolva vacía.</p> <p>4. Revise el área debajo del pistón hidráulico y retire el material de desperdicio</p>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 38, se presenta un total de 50 recomendaciones, distribuida de la siguiente manera: 16 recomendaciones para los riesgos intolerables, 11 para los riesgos indeseables y 23 para los riesgos aceptables con control.

Se estima que de aplicarse las recomendaciones existirá una reducción del nivel de riesgo para los parámetros evaluados, la estimación completa se puede observar en el anexo 1. En la tabla 39 se presenta el resumen de los riesgos obtenido de la estimación realizada.

Tabla 39. Resumen de la cantidad de riesgo estimados después de la implementación de las recomendaciones propuestas.

Tipo de riesgo	Cantidad de parámetros
Intolerable	0
Indeseable	3
Aceptable con control	12
Razonablemente aceptable	13

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, para comprobar si la disminución de los riesgos analizados, a través de la metodología HAZOP, después de implementar las recomendaciones propuesta es significativa, se realizó una prueba de normalidad para los datos obtenido de riesgo.

Seguidamente, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, para comprobar si los datos obtenidos siguen una distribución normal, como lo establece Rial y Valera (2008), ya que resulta conveniente cuando el tamaño de la muestra es igual o menor a 50 casos, siendo el número de caso del presente estudio igual a 28.

Por lo que se procede a plantear las hipótesis correspondientes para cada una de las variables evaluadas.

H0: los datos de la muestra se ajustan a la distribución normal.

H1: los datos de la muestra no se ajustan a la distribución normal.

Siendo el criterio de rechazo de la hipótesis, el descrito por Sáez (2012), “se rechazará la hipótesis nula en favor de la alternativa cuando el p-valor asociado al valor que tome DN sea inferior a 0.05” (p. 178).

El propósito de esta prueba es determinar el método de prueba de hipótesis para el análisis estadístico de las variables.

Tabla 40. Prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Riesgo_A_R	,879	28	,004
Riesgo_D_R	,811	28	,000
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 40, los datos obtenidos de los riesgos evaluados antes de las recomendaciones tuvo un valor de significancia igual a 0,004 y los riesgos evaluados después de las recomendaciones tuvo un valor de 0,000, por lo cual se rechaza la hipótesis nula, ya que no se tienen la certeza de que posean una distribución normal los datos, debido a que los valores de significancia obtenidos son menores al valor de significancia teórico de 0.050 que se utilizó como criterio de rechazo de la hipótesis nula.

Ahora bien, para la contrastación de cuarta hipótesis específica plantada en la presente investigación se aplicó la prueba no paramétrica para dos muestras relacionadas, específicamente la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo. Según Levin y Rubin (2004) establecen que, para este tipo de prueba con muestras dependientes, se siguen los procedimientos y criterios adaptados para todas las pruebas de hipótesis.

En este sentido, se toma como criterio para el rechazo de la hipótesis nula, la comparación con el valor de significancia calculado para la data con el valor de significancia teórico de 0.05. Si el valor de significancia calculado ≥ 0.05 , se aceptará H_0 . Pero, si el valor p calculado < 0.05 , se aceptará H_1 (Levin y Rubin, 2004).

Se plantea como hipótesis nula y alternativa las siguiente:

H0: Las recomendaciones de posibles salvaguardas basadas en la metodología HAZOP no disminuirá significativamente los riesgos analizados.

H1: Las recomendaciones de posibles salvaguardas basadas en la metodología HAZOP disminuirá significativamente los riesgos analizados.

Tabla 41. Rangos de la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo para la hipótesis

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Riesgo_D_R - Riesgo_A_R	Rangos negativos	24 ^a	12,50	300,00
	Rangos positivos	0 ^b	,00	,00
	Empates	4 ^c		
	Total	28		

Fuente: Elaboración propia. a: Riesgo_D_R < Riesgo_A_R, b: Riesgo_D_R > Riesgo_A_R y c: Riesgo_D_R = Riesgo_A_R

Tabla 42. Prueba de Wilcoxon para la contrastación de la hipótesis

	Riesgo Después Recomendaciones – Riesgo Antes Recomendaciones
Z	-4,336 ^a
Sig. asintótica(bilateral)	,000

Fuente: Elaboración propia. a: Se basa en rangos positivos.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el valor de significancia es igual a 0.000, este valor al ser menor que el parámetro teórico de 0.050, lo cual indica que, en las muestras existen diferencias entre las medias de los riesgos evaluados, por lo que se puede afirmar que la hipótesis alterna se cumple entonces: Las recomendaciones de posibles salvaguardas basadas en la metodología HAZOP disminuirá significativamente los riesgos analizados.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. La cantidad de nodos obtenida para el tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez fue de 23 nodos, siendo el sistema de suministro de agua, ablandamiento y solución de lejía el mayor con un total de nueve, seguido del sistema de caldera y distribución de vapor con seis, el sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos con cinco y el sistema mecánico tres nodos identificados.
2. La cantidad de parámetros identificados en el tratamiento de residuos sólidos del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez fue de 28, siendo el sistema de caldera y distribución de vapor el que obtuvo la mayor cantidad de parámetros identificado con 10, seguido del sistema de suministro de agua, ablandamiento y solución de lejía el mayor con un total de nueve, el sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos con seis y el sistema mecánico tres parámetros identificados. Mientras que las palabras guías seleccionadas para determinar las posibles desviaciones en cada nodo fueron: No con un total de 10 repeticiones, Más con un total 11 repeticiones, Menos con un total de seis repeticiones, mientras que la palabra Además de se empleó en una ocasión.
3. En el tratamiento de residuos sólidos del AIJC los peligros que tienen un nivel de riesgo intolerables asciende a seis, los que tienen un nivel de riesgo indeseable ascienden a ocho, lo que tiene un riesgo aceptable con control asciende a 10 y los que tienen un nivel de riesgo razonablemente aceptable asciende a 4.
4. Se estima que las recomendaciones de posibles salvaguardas HAZOP basadas en la metodología lograran disminuir los riesgos intolerables a cero, los riesgos indeseables a tres, mientras que los riesgos aceptables con control aumentaron a 12 y los riesgos razonablemente aceptables ascendieron a 13. Estas diferencias entre los riesgos antes y después de las recomendaciones es significativa estadísticamente, debido a que se obtuvo un valor de significancia igual a 0.000.

6.2. Recomendaciones

1. Se debe realizar la identificación de nodos en el sistema eléctrico del tratamiento de residuos sólidos del AIJC.
2. Se debe ampliar los parámetros de los procesos estudiados, como los parámetros de la faja transportadora y el sistema eléctrico.
3. Se debe tomar las medidas de salvaguarda para disminuir los riesgos intolerables, indeseables y aceptables con control.
4. Se deben aplicar las recomendaciones propuesta, evaluar nuevamente los riesgos para cada uno de los nodos y comprobar la disminución de estos.

REFERENCIAS

- Al-Salem, S., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*, 197, 177-198. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084>
- Baxter, G., Srisaeng, P., & Wild, G. (2018). Sustainable airport waste management: The case of Kansai International Airport. *Recycling*, 3(1), 6. doi:10.3390/recycling3010006
- Constitución Política del Perú. (31 de octubre de 1993).
- Corporación *Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC S.A.)*. (2019). *Movimiento general de pasajeros en aeropuertos y aeródromos de la red aerocomercial internacional 2019*. Recuperado de <https://www.corpac.gob.pe/Main.asp?T=5551>
- Corporación *Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC S.A.)*. (2020). *Movimiento general de pasajeros en aeropuertos y aeródromos de la red aerocomercial internacional 2020*. Recuperado de <https://www.corpac.gob.pe/Main.asp?T=5622>
- Decreto Supremo 009-2012-TR, de 01 de noviembre de 2016, Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo. Presidente de la República.
- Dunjó, J., Fthenakis, V., Vílchez, J. A., & Arnaldos, J. (2010). Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 19-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.076>
- Fajardo, K., & Ferrucho, C. (2019). *Análisis de las alternativas de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos disponibles con riesgo epidemiológico provenientes de vuelos internacionales para ser implementadas en Colombia* (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Hadef, H., Negrou, B., Ayuso, T. G., Djebabra, M., & Ramadan, M. (2019). Preliminary hazard identification for risk assessment on a complex system

- for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(20), 11855-11865. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.10.162
- Herrera, M., Luna, A., Costa, A., & Lemes, E. (2018). Risk Analysis: A generalized Hazop methodology state-of-the-art, applications, and perspective in the process industry. *Vigil. sanit. Debate*, 6(2), 106-121. doi: <https://doi.org/10.22239/2317-269x.00990>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2016). On board a sustainable future: 2016 environmental report. Recuperado de <http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>
- International Electrotechnical Commission. (2016). Hazard and operability studies (HAZOP studies) - application guide (IEC 61882:2016). IEC, Geneva, Switzerland.
- Juárez, B. (2015). *Análisis e identificación de riesgos de operabilidad en una batería de producción, mediante la aplicación de la metodología HAZOP* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Levin, R., y Rubin, D. (2004). *Estadísticas para administración y economía*. (7ma ed.). México D.F.: Pearson Educación.
- Ley de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, de 22 de diciembre de 2016, Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Presidente de la República.
- Ley General de Salud 26842, de 9 de julio de 1997, Congreso de la República.
- Ley General del Ambiente 28611, de 15 de octubre de 2005, Congreso de la República.
- Lima Airport Partners S.R.L. (LAP). (2007). *Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos – Tecnología Autoclave. Manual de operaciones y mantenimiento*. Lima: Responde SAC.
- Lima Airport Partners S.R.L. (LAP). (2015). *Informe de Sostenibilidad 2015*. Lima: Responde SAC.
- Lima Airport Partners S.R.L. (LAP). (2020). *Informe de Sostenibilidad y Memoria Anual 2019*. Lima: Responde SAC.
- Monsalud, A., Ho, D., & Rakas, J. (2015). Greenhouse gas emissions mitigation strategies within the airport sustainability evaluation process. *Sustainable Cities and Society*, 14, 414-424. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.003>

- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA). (2014). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. Informe 2013-2014 Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional*. Lima: OEFA.
- Peña, J., y Navarro, G. (2017). *Manejo de los residuos sólidos en el municipio de Piedecuesta - Santander, un análisis desde la gestión del riesgo* (Tesis de maestría). Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia.
- Resolución ministerial 403-2018-MINAM, de 16 de noviembre de 2018, Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. Ministerio del Ambiente.
- Rial, A., y Valera, J. (2008). *Estadística práctica para la investigación en ciencias de la salud*. La Coruña, España: Gesbiblo, S. L.
- Robles, J. (2018). *Aplicación del método HAZOP (Hazard and Operability), para la disminución de riesgos de operatividad, en el GRUPO ITALTACONES EIRL. 2018* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.
- Sáez, A. (2012). *Apuntes de estadística para ingenieros*. Jaén, España: Universidad de Jaén.
- Sarbassov, Y., Venetis, C., Aiymbetov, B., Abylkhani, B., Yagofarova, A., Tokmurzin, D., ... & Inglezakis, V. J. (2020). Municipal solid waste management and greenhouse gas emissions at international airports: A case study of Astana International Airport. *Journal of Air Transport Management*, 85, 101789. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101789>
- Siddappaji, Sujatha, K., & Radha, R. (2016). Technologies for segregation and management of solid waste: A review. In *International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Vargas, C. (2019). *Determinación de riesgos de accidentes mayores a través del análisis de peligros y operatividad (HAZOP) en el área de destilación de una planta de alcohol* (Tesis de maestría). Universidad Espíritu Santo, Samborondón, Ecuador.
- Villegas, L. (2017). *Evaluación de riesgos en la operación de una planta de tratamiento de agua de producción para pozos inyectoros* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Zou, S., Kuang, Y., Tang, D., Guo, Z., y Xu, S. (2018). Risk analysis of high level radioactive waste storage tank based on HAZOP. *Annals of Nuclear Energy* 119, 106–116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2018.04.021>

Anexos

Anexo 1. Estimación de los riesgos de los parámetros identificados después de aplicar las recomendaciones propuestas

Proceso	Nodos	Parámetro	Desviación	Posible causa	Recomendaciones	P	S	R
Suministro de agua	1	Máxima presión de trabajo	Presión de trabajo mayor a la deseada	No se mide la presión a la entrada de tanque	1. Revisar el estado del manómetro, de las válvulas. 2. Verificar la presión de Precarga del Tanque Hidroneumático, si la presión no es la predefinida: 18 PSI, mandar llamar al servicio técnico.	L2	C2	4
	2	Máximo caudal de llenado en el tanque	No se controla el caudal de llenado	No se cuenta con un contador		L2	C2	4
	3	Presión de descarga	La presión de descarga es muy alta	No se mide la presión de salida		L2	C2	4

Proceso operativo de ablandamiento	1	Caudal del Ablandador	La velocidad del flujo es mayor a la deseada	No se controla el caudal de entrada al ablandador	1. Revise la presión de agua de la línea principal. El ablandador está diseñado para una presión de trabajo mínima de 30 PSI y una presión de trabajo máxima de 120 PSI. Si la línea de presión excede estos límites coloque un reductor de presión. 2. Reemplace el tubo de distribución. 3. Conecte apropiadamente la conexión entrada/salida	L3	C3	9
	2	Capacidad de Intercambio	La concentración de iones es muy elevada.	No se realiza periódicamente la regeneración de la resina	1. Asegurarse que el servicio eléctrico sea permanente. 2. Añada sal al tanque de salmuera y mantenga el nivel de la sal arriba del nivel de agua. 3. Verifique el tiempo de llenado del tanque de salmuera y limpie la línea de control de flujo de la salmuera si esta obstruida	L3	C3	9
	3	Tiempo de regeneración	No se cumple con el tiempo para lograr la regeneración de la resina	No se controla el tiempo para lograr la regeneración de la resina requerida	1. Colocar un temporizador	L3	C3	9

Suministro de solución de lejía	1	Capacidad	No se prepara toda la solución de lejía necesaria	1. No se emplea la cantidad de lejía requerida 2. No se controla el llenado del tanque adecuadamente		L2	C2	4
	2	Gasto	No se realiza mantenimiento a las bombas centrífugas	1. No existe una programación de mantenimiento 2. No se dispone de personal calificado para realizar el mantenimiento	Mantenimiento de las Bombas, sobre todo del rodaje, retenes, sellos o empaquetaduras, eje de la bobina.	L2	C2	4
	3	Potencia	El suministro de solución de lejía está por debajo de lo deseado	La bomba desarrolla menos flujo de lo esperado	1. Limpieza del Tanque 2. Si se llega a verificar que hay fuga en las conexiones o se observa un mal funcionamiento de la pistola spray, se debe pensar en reemplazarlo	L2	C2	4

Sistema de caldera y distribución de vapor.	1	Potencia	No está cumpliendo con el valor establecido.	1. Descalibración del presostato 2. Falta de mantenimiento del interior de la caldera	1. Revisar el lado de agua de la caldera. Una vez que la caldera esté fría se debe drenar por completo, abrir los registros de inspección de mano y el registro de inspección de hombre y lavar bien con agua a presión, verificando que toda la incrustación y sedimentos sean removidos del interior de la caldera	L2	C3	6
		Presión de trabajo	Más presión de la permitida.	Descalibración del Control Limitador de Presión de Operación	1. La cubierta del control debe estar en su lugar todo el tiempo para proteger los componentes internos del polvo, humedad y daño físico. 2. El mantenimiento consiste de una inspección ocasional y de una limpieza con chorro de aire o brocha para remover suciedad. 3. Para asegurar un adecuado funcionamiento del controlador, realizar un chequeo operacional del dispositivo.	L2	C4	8

		Nivel de agua	No está cumpliendo con el valor establecido.	Atoramiento de los tubos del control de nivel por flotador, quedando la boya atascada	<p>PRUEBA DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA:</p> <p>1. Estando el quemador funcionando se abrirá parcialmente la válvula de purga de la columna de nivel. Se irá observando constantemente el descenso de nivel en el tubo de vidrio.</p> <p>2. Cuando el nivel haya descendido de 3 a 1 pulgada debajo de lo normal, deberá arrancar la bomba de agua y se pondrá en marcha nuevamente el quemador.</p>	L2	C4	8
--	--	---------------	--	---	--	----	----	---

	2	Dureza del agua	Elevada concentración de iones causante de incrustaciones.	Falla en la remoción de iones en el ablandador	<p>1. El especialista en tratamiento de agua efectúa un estudio detallado del sistema y luego diseña un programa de tratamiento específico a la necesidad de la caldera</p> <p>2. Una vez que se implemente el programa, el especialista debe asegurar que el programa permanece efectivo por medio de visitas regulares a la planta con la finalidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprobar y registrar los parámetros del tratamiento. - Verificar el equipo de pretratamiento, alimentación química y control. - Inspeccionar todas las áreas del sistema de la Sala de Caldera. - Recomendar por escrito mejoras para el programa. 	L3	C4	12
--	---	-----------------	--	--	--	----	----	----

	Purga de agua	Las purgas se efectúan en menor cantidad de las recomendadas.	No se cuenta con un programa de purgas frecuentes, basado en la experimentación y análisis de los las condiciones del agua de alimentación y del agua interna	<p>1. Para el tratamiento químico se debe aplicar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Producto anticorrosivo (Sulfito): SK-95 - Producto antiincrustante (Fosfato): SCALFOS -L <p>2. Para verificar la corrosión por oxigenación drene la unidad y remueva las tapas de los registros para una inspección visual de los tubos, hogar, casco y placas por lo menos una vez al año</p> <p>3. inspección visual del borde interior del recipiente para obtener muestras de cualquier incrustación que se haya formado. De haber incrustaciones llame inmediatamente al especialista de tratamiento de agua para obtener asistencia</p> <p>4. De existir sedimento, lave con una manguera de alta presión la "cavidad" o parte inferior del casco de la caldera.</p>	L3	C4	12
--	---------------	---	---	--	----	----	----

3	Presión	La presión está por encima del valor deseado	1. Falla en la electroválvula (solenoides) del tren de gas 2. Se debe a la demanda de vapor o caída de la presión de vapor, por lo que el sistema incrementa la presión del gas	1. Desarmar el quemador en su conjunto y realizar una limpieza general, eliminando polvo, suciedad, pelusas. Lubricar los bujes de la caja del dämper periódicamente, utilizando preferentemente productos siliconados en aerosol, tipo WD40.	L2	C4	8
	Caudal	No se controla el caudal del gas	El quemador se "bloquea" en fuego alto o al aproximarse a fuego alto.	En el conjunto del cabezal de gas verifique que los tornillos que ajustan el cabezal de combustión estén firmes. Limpie manualmente la tobera de gas, la pantalla difusora, la cerámica del electrodo de encendido y la varilla de ionización. Reemplácelos de ser necesario.	L2	C4	8
4	Presión	La presión es mayor a la requerida	No se controla la presión de aire	Colocar una válvula reguladora de presión	L3	C3	9
5	Presión	La presión del vapor es mayor a la requerida	Falta de mantenimiento de la válvula de alivio	La prueba de apertura de la válvula de alivio debe realizarse cada 30 días o después de cada periodo de inactividad	L2	C4	8

	6	Agua de condensación	No se controla el agua de condensación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Altas concentraciones de sólidos en la caldera debido a falta de purga. 2. Falta de tratamiento adecuado del agua de alimentación. 3. Una línea de vapor muy pequeña en la boquilla (tobera) de la caldera que causa velocidades de vapor excesivas que "sacan" el agua de la caldera. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar inspección de sedimento y las incrustaciones ya que actúan como aislamiento, evitan el traspaso de calor y causan recalentamiento de los tubos y el hogar, pudiendo dilatarse demasiado y aflojarse de las placas, con la consiguiente fuga de agua. 2. Es importante que las tapas de los registros de mano tengan buen sello. Una mínima fuga causará que el metal de la caldera se corroa resultando en un asiento pobre para el empaque. 	L2	C2	4
--	---	----------------------	--	---	---	----	----	---

Sistema de autoclave, vacío, compresor de aire y periféricos	1	Presión de descarga	No se alcanza la presión requerida	Bloqueo de la corriente de aire en la salida.	<p>La bomba de vacío básicamente consta de cuatro partes, motor, la bomba de vacío, el recipiente de almacenamiento y el intercambiador de calor: Para el cambio de las piezas requiere ser realizado por personal técnico especializado, se deberá considerar como secuencia de desmontaje y cambio de piezas lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema de cañería, válvula check, válvulas strainer deberán ser desmontados girando en contra el sentido de las agujas del reloj. • El motor eléctrico será desmontado cuidadosamente removiendo los enclaves que lo sujetan al soporte principal y además desconectándolo del sistema eléctrico cuidando que el eje no se altere. • La bomba de vacío será removida del soporte principal. 	L2	C2	4
--	---	---------------------	------------------------------------	---	--	----	----	---

	2	Presión de vapor de operación.	La presión de vapor no es la requerida	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla del manómetro 2. Exceso de humedad en el vapor 3. Falla de la válvula de seguridad de Ingreso de vapor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cojinetes de bisagra: lubricar dos veces al año; deben trabajar suavemente. 2. Ajuste de la bisagra: sólo debe ser realizado por personal especializado. 3. Cuñas de las puertas y anillo de bloqueo. Lubricar semanalmente. 4. Reemplazo de empaquetadura de puertas: inspeccionar frecuentemente si hay desgaste. No aplicar lubricantes directamente a la empaquetadura. 5. Malla de drenaje (ubicada en el piso de la autoclave): limpiar si está obstruida. Si sale demasiada agua al abrir la puerta al final del ciclo es indicación de que la malla del drenaje está obstruida. 6. Filtro "Y" (ubicada en la línea de drenaje): soplear semanalmente, abriendo la válvula de bola por 10 segundos durante el ciclo de esterilización. 	L2	C2	4
--	---	--------------------------------	--	---	---	----	----	---

					<p>Limpiar la malla cuando esté sucia.</p> <p>7. Limpieza: la unidad debe limpiarse completamente en el interior periódicamente.</p>		
--	--	--	--	--	--	--	--

	3	Presión	La presión del sistema es más alta de la requerida	1. Falla del sensor de presión 2. Exceso de humedad en el vapor 3. Falla de la válvula de seguridad de Ingreso de vapor	Realizar el mantenimiento de la válvula de ingreso vapor	L2	C4	8
		Temperatura	La temperatura es menor a la requerida	Falla en el sensor de temperatura	Mantenimiento del sensor de temperatura	L2	C4	8
	4	Presión	La presión de aire no es la requerida	1. No se realiza la limpieza de filtro de aire 2. No se ajusta la tensión de la faja		L2	C2	4
	5	Peso	No se controla el peso del líquido desodorizador	No se realiza la verificación periódica del nivel del líquido deodorizador	1. Revisión de la bomba de inyección: mensual. 2. Revisión de la manguera de solución: semanal	L2	C2	4
Sistema Mecánico de Manejo de Residuos.	1	Potencia	No está cumpliendo con el valor establecido.	El nivel de líquido de lubricante está por debajo de $\frac{3}{4}$ del nivel del tanque.	Ajustes, Calibración y Pruebas.	L2	C2	4
	2	Peso	Se excede el peso máximo permitido	No se controla el peso de los residuos sólidos esterilizados	1. Ajustes, Calibración y Pruebas. 2. Reemplazo de cortadora 3. Reemplazo de cuchilla auxiliar	L2	C2	4

	3	Velocidad del rotor	Baja velocidad de rotación de la trituradora.	<ol style="list-style-type: none"> 1. La temperatura de Rotor exceda los 70°C 2. Fuga de lubricante 3. Nivel de los residuos excede 1 m de la tolva. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reparación del Rotor: Para toda reparación al rotor como soporte de rodamiento, renueva la caja de cambios, removiendo y re ensamblando el rotor en sí mismo 2. Limpiar los rieles guía y los casquillos extremos 3. Revisar la velocidad de operación con la tolva vacía. 4. Revise el área debajo del pistón hidráulico y retire el material de desperdicio 	L2	C5	10
--	---	---------------------	---	---	---	----	----	----

P: Probabilidad, S: Severidad, R: Riesgo