

**Universidad de Matanzas**  
**“Camilo Cienfuegos”**  
**Facultad de Ingenierías**  
***Departamento de Química e Ingeniería Química***



**Trabajo de Diploma**

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.

**Título:** ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA INDUSTRIA PROCESADORA DE  
CÍTRICOS U.E.B "HÉROES DE GIRÓN".

**Autor:** Raydel R. Cedeño Núñez.

**Tutor:** Dr. Jesús D. Luis Orozco.

Ing. Luis A. Olivera Díaz

Matanzas, Cuba

2014

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.

Yo, Raydel R. Cedeño Núñez, declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la Industria procesadora de cítricos U.E.B "Héroes de Girón" y de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.



## DEDICATORIA

Este trabajo de diploma va dedicado a aquellas personas que siempre confiaron en mi capacidad y mi dedicación para lograr transitar este largo camino, que desafortunadamente no todos llegan a la meta.

- La principal fuente de inspiración y a la que va dedicada todo mi esfuerzo y sacrificio durante estos 5 años, mi mamá: Zoyla Núñez Torres. Este título es la mejor forma que tengo de ser recíproco para con ella, ya que nadie sabe el esfuerzo que lleva para una madre poder sustentar una carrera universitaria, solo aquel que lo ha vivido en carne propia.
- A mis hermanos Yaima y Yandy, mi especial abuelita Vita, tíos, primos y por supuesto una de las cosas más linda que ha llegado a mi vida, mi sobrino Alejandro de Jesús que con solo dos añitos me ha inspirado muchas ganas de seguir adelante.
- A mi novia por tener tanta paciencia para aguantar al autor de este trabajo, ya que reconozco que uno de mis mayores defectos es el carácter fuerte que poseo, y que muchas veces no sé cómo controlarlo.
- A mis compañeros de aula en especial a los que me acompañan en cada paso que doy, mis compinches de batalla, los que siempre han estado en las buenas y en las malas, los que me han brindado su ayuda cuando la he necesitado. En general a todos mis amigos, no necesito mencionarlos, ellos saben quiénes son.
- A todos los profesores que han aportado en mi formación como profesional, en especial a mi tutor y amigo Jesús Luis Orozco, ya que me identifico mucho con su forma de ser y de pensar, por su manera tan espontánea de expresar lo que piensa sin ningún tipo de temor. Muchas gracias por todo lo que he aprendido de usted.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este agradecimiento va para todas aquellas personas que aportaron su granito de arena para que este trabajo de diploma pudiera realizarse con la mejor calidad posible.

- A mi Mamá.
- A mis familiares y amigos.
- A mi novia.
- A los profesores de la facultad de química.
- A mi tutor Dr. Jesús D. Luis Orozco.
- Al Ing. Luis A. Olivera Díaz.

En fin a todos y cada uno de ellos que me ayudaron a culmina esta tesis presentada en opción al título del ingeniero químico.

Muchas gracias a todos.

## Resumen

El presente trabajo se desarrolló en la U.E.B de Cítrico "Héroes de Girón", con el objetivo de ejecutar un análisis para detectar los riesgos operacionales y de otra índole que pudieran presentarse. Los mismos fueron evaluados utilizando la técnica de Análisis de Peligro y Operabilidad (*HAZOP*), siendo apoyado por otra titulada Modos de Fallos y sus Efectos (*FMEA*) y el software Statgraphics. Para lograr esto se hacía necesario el conocimiento total y exacto del proceso, por lo que se realiza la caracterización tecnológica en la línea de producción principal: jugo concentrado congelado, así como sus equipos y las sustancias que intervienen en él. Además se elaboró un banco de datos de los principales parámetros del proceso para ser analizados en el software anteriormente mencionado, con el fin de detectar su normalidad y su control. Se obtiene como resultado la evaluación de los principales riesgos que pueden ser presentados y las medidas preventivas que se deben tomar en cada caso en particular, detectándose que los equipos que más peligros presentan para el personal de trabajo, el medio ambiente y los bienes materiales fueron: los generadores de vapor, por presentar riesgos de explosión si no se operan como es debido, los extractores y evaporadores que de no funcionar como es conveniente, pueden provocar pérdidas en el producto final. En cuanto a las sustancias que intervienen en el proceso, la más dañina para el personal es el amoníaco. Se aporta a la industria como guía de operación para evitar que los riesgos evaluados se concreten y puedan ser evadidos.

## Summary

The present work was developed in U.E.B "Héroes de Girón", with the objective of enforcing an analysis to detect the operational and another- nature risks that can show up. The same were evaluated using the method of Hazard and Operability Analysis (HAZOP), being backed up by another titled Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and the software Statgraphics. In order to achieve this total and exact knowledge of the process was becoming necessary, which is why the technological characterization in the main production line comes true: frozen juice concentrated, as well as his teams and the substances that they intervene in him. Besides was elaborated a data bank of the main parameters of the process to be analyzed in the mentioned before software, with the aim of detecting his normality and his control became elaborate. The evaluation of the main risks that can be introduced and the preventive measures that they should take in each case in particular, detecting that the equipments that more hazards show for the staff of work, the environment and means were gotten as a result: Steam boilers, in order to present risks of explosion if they do not have an operation as it should be, extractors and evaporators that it doesn't work as it is convenient, it can provoke losses in the final product. As the substances that intervene in the process, the most prejudicious for the personnel is the ammonia. It contributes in the industry as to guide of operation to prevent that the evaluated risks become concrete and may be avoided.

## Índice

Introducción. ....	1
Capítulo 1. Análisis Bibliográfico. ....	4
1.1 Conceptos y Generalidades. ....	4
1.1.1 Definición de Peligro. ....	4
1.1.2 Definición de riesgo. ....	4
1.1.3 Definición de explosión. ....	6
1.2 Definición de Accidente, Emergencia, Desastre. ....	6
1.3 Riesgos químicos. Gestión de la prevención de riesgo químico. ....	9
1.4 Técnicas de estimación y evaluación de riesgos. ....	14
1.5 Análisis de riesgos. Técnicas de análisis más usadas en la industria. ....	14
1.5.1 Métodos Comparativos. ....	16
1.5.2 Métodos Generalizados. ....	16
1.6 Descripción de las técnicas de análisis. ....	16
1.7 Conclusiones Parciales. ....	28
Capítulo 2. Materiales y Métodos. ....	29
2.1 Caracterización del Proceso. ....	29
2.2 Caracterización de los principales equipos. ....	33
2.3 Aplicación de las técnicas de análisis de riesgos. ....	38
2.3.1 Identificación de Peligros asociados a las sustancias. ....	39

2.3.2 Metodología empleada para el Análisis de riesgo por HAZOP .....	41
2.3.3 Metodología empleada para el Análisis de riesgo por FMEA.....	44
2.4 Utilización del software Statgraphics como complemento auxiliar. ....	46
Capítulo 3. Análisis de los Resultados. ....	47
3.1 Análisis del comportamiento de los principales parámetros de operación del proceso.....	47
3.2 Análisis de la caracterización de las sustancias.....	57
3.3 Análisis de resultados de la aplicación de la técnica de HAZOP.....	60
3.4 Análisis de resultados de aplicación de la técnica de FMEA.....	66
3.5 Conclusiones Parciales.....	73
Conclusiones .....	74
Recomendaciones.....	75
Bibliografía .....	76

## Introducción.

La U.E.B “Héroes de Girón” se fundó en abril de 1983, con un costo de 35 millones de pesos y desde entonces constituye la principal carta de presentación del desarrollo industrial citrícola de Cuba. En esta industria se procesan más del 60 % de todos los cítricos cubanos dedicados a la producción de jugos y otros sub- productos, cosechados por la Empresa de Cítricos “Victoria de Girón”. Este centro se encuentra ubicado en la Autopista Nacional Km. 142, municipio de Jagüey Grande.

Inicialmente fue diseñada para la obtención de una gran variedad de productos a partir de naranja, toronja y limón, tales como: Jugos Naturales embotellados, Confituras Cítricas, Jugos Concentrados Pasterizados, Jugos Concentrados Congelados, Aceites esenciales y otros productos aromáticos, Hollejo deshidratado para pectina y Forraje cítrico deshidratado.

Con la desintegración del campo socialista en Europa y por ende la disminución en la exportación de las frutas, se hizo necesario aceptar la inversión extranjera, buscando con ello nuevos mercados y financiamiento para la industria, que paulatinamente fue aumentando su capacidad de producción con las ampliaciones realizadas.

De esta manera la industria cuenta con un Sistema de Calidad certificado por la Oficina Nacional de Normalización y la firma Francesa BVQI en las Normas Internacionales ISO, desde abril del 2001.

Desde ese momento su mercado fundamental es la Comunidad Económica Europea, la industria “Alimentos Río Zaza” al igual que el Polo Turístico de Varadero y La Habana, es miembro del Control Voluntario para la Autenticidad de los jugos. Sus productos principales son: Jugos concentrados de toronja y naranja, Jugos naturales de toronja y naranjas, Jugos asépticos de toronja y naranja, Aceites esenciales de toronja y naranja, Celdillas cítricas de toronja y naranjas, Jugos concentrados de Piña, Pulpa concentrada de frutas tropicales, Pasta de tomate, Puré de tomate,

Conservas y mermeladas de frutas tropicales, así como Hollejo. (Expediente del Perfeccionamiento Empresarial de la Empresa, 2005)

Teniendo en cuenta que en todas las industrias se encuentran un cierto número de peligros, producto de las sustancias que intervienen y la utilización de maquinarias, que de no ser operadas de la forma correcta o verificado su adecuado funcionamiento en óptimas condiciones, pueden ocasionar daños al personal que se encuentren cercano a su rango de trabajo, al medio ambiente y a los bienes materiales, que no por ser el último deja de ser importante, ya que cualquier anomalía que provoque pérdidas en la elaboración del producto final (que es el objetivo principal de una industria, para ingresar ganancias) se puede considerar un riesgo industrial.

Al estudio de situaciones o peligros asociados a lo expuesto anteriormente se le denomina "Análisis de riesgo industrial", y teniendo en cuenta que a la industria, se les hace conveniente la utilización del mismo, se ha tomado la decisión de desarrollar dicho trabajo en aras de que sea utilizado como guía para prevenir las anomalías que sean detectadas en la evaluación de los mismos. Esta es una industria con un nivel de producción anual muy elevado, dándole al país gran aporte económico, con la demanda que presentan los productos elaborados. Esto es un gran motivo para garantizar que no ocurran accidentes que dañen al personal de trabajo y a los bienes materiales, y así de esta manera lograr garantizar que se mantenga una producción elevada, continua y eficiente.

Por lo tanto, se puede concretar que el análisis de riesgo es una herramienta de gran importancia que permite identificar los peligros, cuantificar los riesgos y decidir si estos son tolerables o no, además de evaluar la efectividad de acciones alternativas para minimizarlos.

Por lo que se presenta el siguiente **Problema**:

¿Cómo determinar los riesgos que se presentan en la línea de producción de jugo concentrado congelado, para evitar las ocurrencias de accidentes y poder mantener una producción continua y eficiente en la U.E.B "Héroes de Girón"?

Para dicho problema se plantea la siguiente **Hipótesis**:

Si se aplica las técnicas de análisis de riesgos adecuadas en los equipos principales de la línea de producción de jugo concentrado congelado, se podrá determinar los riesgos que presenta la industria para el personal, el medio ambiente y los bienes materiales.

**Objetivo General:**

Determinar los riesgos que puedan existir en la línea de producción de jugo concentrado congelado que afecten al personal, el medio ambiente y los bienes materiales, así como plantear las consecuencias y soluciones posibles para evitarlos.

**Objetivos Específicos:**

1. Caracterizar el proceso productivo de la industria, con más detalle el de la línea de jugo concentrado congelado, así como las sustancias que en el intervienen y sus equipos principales.
2. Caracterizar las sustancias de mayor peligro presentes en la línea de producción de jugo concentrado congelado.
3. Aplicar las técnicas de *HAZOP* y *FMEA* para la caracterización de los diferentes tipos de riesgos que puedan presentarse, en conjunto con un análisis de los principales parámetros de operación.
4. Proponer acciones que permitan actuar adecuadamente para prevenir posibles accidentes.

## **Capítulo 1. Análisis Bibliográfico.**

En este capítulo se aborda el estado de la temática en el ámbito científico, desarrollando conceptos y generalidades con respecto al análisis de riesgo, así como las metodologías utilizadas para evaluar los mismos. Para ello se consultaron documentos y artículos de las personas más capacitadas para abordar en el asunto objeto de estudio.

### **1.1 Conceptos y Generalidades**

#### **1.1.1 Definición de Peligro**

Según PNUMA/IPCS (1999) afirman que el peligro es la posibilidad de que una sustancia, mezcla de sustancias o procesos que involucran sustancias –bajo ciertas condiciones de producción, uso o disposición– causen efectos adversos en los organismos o en el ambiente, por sus propiedades inherentes y de acuerdo con el grado de exposición; en otras palabras, es una fuente de daño.

Autores como Casal (2001) plantean que se define el peligro como aquello que puede producir un accidente o un daño. El riesgo, sin embargo, estaría asociado a la probabilidad de que un peligro se convierta realmente en un accidente con unas consecuencias determinadas.

#### **1.1.2 Definición de riesgo**

Se han propuesto diversas definiciones de riesgo: “situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento”, o bien “probabilidad de que suceda un determinado peligro potencial”, o aún “consecuencias no deseadas de una actividad dada, en relación con la probabilidad de que ocurra”. (Casal, 2001)

Para poder medir el riesgo la expresión más generalizada es el producto de la probabilidad de la ocurrencia del evento considerado por las consecuencias esperadas:  $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$ , es decir, esta fórmula expresa matemáticamente que: si estamos ante la presencia de una amenaza (peligro) y surge una vulnerabilidad (humana) asociada ante la misma, entonces existe un

riesgo. La amenaza era considerada como el factor activo y la vulnerabilidad como el factor pasivo. (Soldano, 2008), (Maskrey, 1994)

Según Correa (2004), Morales (2004), Hernández (2009), López (2010), Casal (2001), el riesgo se define como:  $\text{Riesgo} = \text{frecuencia} \times \text{magnitud de sus consecuencias}$ .

Riesgo no es más que la “situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento expuesto” (Galán, 2002).

Para propósitos de Ingeniería el riesgo se describe como las pérdidas esperadas (pérdidas humanas, personas lesionadas, daño a la propiedad e interrupción de las actividades económicas), causadas por un fenómeno en particular. Riesgo es la función de la probabilidad de sucesos particulares y las pérdidas que cada una causa. Correa, A. D. (2004), Morales, Y. C. (2004).

Los riesgos de forma general se pueden clasificar según Casal (2001) de la siguiente forma:

- Riesgos convencionales: relacionados con la actividad y el equipo existente en cualquier sector (electrocución, caídas).
- Riesgos específicos: asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radioactivos).
- Riesgos mayores: relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar a áreas considerables (escape de gases, explosiones).

### **1.1.3 Definición de explosión.**

En general se puede definir una explosión como una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras va disipando energía. Esta liberación tiene que ser, no obstante, bastante rápida y concentrada para que la onda que se genera sea audible. No es necesario, pues, que se produzcan daños para poder considerar este fenómeno como explosión. La energía liberada puede haber sido almacenada inicialmente bajo una gran variedad de formas: nuclear, química, eléctrica o de presión. (Casal, 2001)

Braña y Santamaría, (1994) plantean que en una explosión se produce una gran cantidad de energía en un espacio de tiempo muy corto. Existen dos clases principales de explosiones:

- explosión física, en la que la energía necesaria para que se produzca procede de un fenómeno físico. El caso típico es la liberación súbita de la energía presente en un gas comprimido. Es necesario que la sustancia se encuentre en un recipiente hermético.
- explosión química, en la que la energía procede de una reacción química y no es necesario que esté confinada.

### **1.2 Definición de Accidente, Emergencia, Desastre**

Un accidente es un suceso fortuito e incontrolado, capaz de producir daños. En general en la industria química este suceso coincide con situaciones de emisión, escape, vertido, incendio y explosión, donde están implicadas sustancias peligrosas. (Casal, 2001)

El autor Casal, (2001) clasifico los accidentes en tres categorías:

- Categoría 1: Aquellos accidentes que se prevé que habrá, como única consecuencia, daños materiales en la instalación industrial accidentada. Los

daños asociados a la emisión, el escape, el vertido y la explosión quedan, pues, limitados a los límites de la propiedad de la instalación industrial; no se producen víctimas ni heridos.

- Categoría 2: Aquellos accidentes en los que se prevé que habrá, como consecuencia, posibles víctimas y daños materiales en la instalación industrial. Las recuperaciones en el exterior se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente, en zonas limitadas.
- Categoría 3: Aquellos accidentes en los que se prevé que habrá, como consecuencia posibles víctimas, daños materiales o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas, en el exterior de la instalación industrial.

**Emergencia:** se asocia a los accidentes vinculados a las entidades que pueden conllevar al escape de sustancias tóxicas, explosiones o incendios de grandes proporciones. Situación anormal generada con posibilidades de daños graves, a las personas, instalaciones y medio ambiente, que provoca la necesidad de medidas especiales dentro y fuera del lugar donde se origina. (Rodríguez, 2004)

Las siguientes situaciones de emergencia se establecen en función de las necesidades de intervención derivadas de las características del accidente y de sus consecuencias ya producidas o previsibles, así como también los medios de intervención disponibles.

- *Situación 0:* Referida a aquellos accidentes que pueden ser controlados por los medios disponibles y que, aún en su evolución más desfavorable, no supone peligro para personas no relacionadas con las labores de intervención, ni para el medio ambiente, ni para bienes distintos a la propia red viaria en la que se ha producido el accidente.
- *Situación 1:* Referida a aquellos accidentes que pudiendo ser controlados con los medios de intervención disponibles, requieren de la puesta en práctica de

medidas para la protección de las personas, bienes o el medio ambiente, que estén o que puedan verse amenazados por los efectos del accidente.

- *Situación 2:* Referida a los accidentes que para su control o la puesta en práctica de las necesarias medidas de protección de las personas, los bienes o el medio ambiente se prevé el concurso de medios de intervención, no asignados al Plan de la Comunidad Autónoma, a proporcionar por la organización del Plan Estatal.
- *Situación 3:* Referida a aquellos accidentes en el transporte de mercancías peligrosas al considerarse que está implicado el interés nacional así sean declarados por el Ministro de Justicia e Interior. (Casal, 2001).

**Desastres:** Generalmente se subdividen por razones didácticas en dos amplias categorías: aquellos causados por fuerzas naturales (desastres naturales) y los causados o generados por los humanos (antropológicos o tecnológicos). Casal, (2001)

Desastres tecnológicos: Son situaciones en las cuales un gran número de personas, propiedades, infraestructura, actividades económicas son directa y adversamente afectadas por accidentes industriales de gran magnitud, incidentes de contaminación densa, accidentes químicos, biológicos, nucleares, aéreos, incendios masivos y explosiones.

Desastres de comienzo lento: En situaciones en las cuales la habilidad de las personas para adquirir alimentos y otras necesidades de existencia disminuyen lentamente y hasta el punto en que los sobrevivientes quedan en grave peligro. Tales situaciones son típicamente producidas o precipitadas por sequías, fracaso de cultivo, enfermedades causadas por un vector u otras formas de desastres ecológicos o negligencias.

Desastres causados por el hombre: Situaciones de emergencia cuyas principales causas directas se cuantificaron como acciones humanas, sean o no deliberadas.

Desastres naturales súbitos: calamidades súbitas causadas por fenómenos naturales tales como: inundaciones, tormentas tropicales, terremotos, erupciones volcánicas, etc. Se desencadenan con poco o sin aviso y tienen un aspecto adverso inmediato sobre la población humana, actividades y sistemas económicos. Casal, (2001).

### ***1.3 Riesgos químicos. Gestión de la prevención de riesgo químico.***

Todas aquellas sustancias químicas inorgánicas u orgánicas de diferentes características y fórmulas que, presentándose de forma líquida, sólida, gaseosa, en aerosoles, nieblas, vapores, etc. Pueden penetrar el organismo y provocar efectos tóxicos, irritantes y sensibilizadores, cancerígenos, mutágenos e influir sobre la función reproductora; son las que provocan los riesgos químicos. Badia, M. D. (2004)

El proceso de evaluación del riesgo para la salud humana asociado a la exposición de un producto químico tiene tres componentes:

- 1) Identificación del peligro potencial: Confirmación de que un agente químico es capaz, en circunstancias apropiadas, de causar un efecto adverso.
- 2) Evaluación de la dosis – respuesta: Establecer la situación cuantitativa entre la dosis y el efecto.
- 3) Evaluación de la exposición: Identificar y definir las exposiciones que ocurran o puedan ocurrir.

Como conclusión del proceso de evaluación se debe hacer una caracterización del riesgo que es la síntesis de la información cualitativa que describe el riesgo estimado para la salud, deducido de la exposición ambiental.

De acuerdo con Casal, (2001) merece la pena destacar los criterios de clasificación según los efectos específicos sobre la salud humana.

Estos efectos se refieren a:

- Sustancias carcinogénicas.
- Sustancias mutagénicas.
- Sustancias tóxicas para la reproducción.
- Sustancias corrosivas.
- Sustancias sensibilizadoras.
- Sustancias irritantes.
- Sustancias de toxicidad aguda.
- Sustancias de toxicidad por dosis repetidas.

**Sustancias tóxicas:** Llámese a venenos, irritantes y asfixiantes. No interactúan directamente con los tejidos pero interfieren en los procesos metabólicos. Es conveniente evitar inhalaciones y el contacto con la piel y mucosas, trabajar bajo campana y utilizar dispensadores automáticos.

**Toxicidad aguda:** según autores como Duffus (1996); Rodríguez (2006) la toxicidad aguda se puede definir como el conjunto de efectos adversos que se producen dentro de un plazo corto (hasta 14 días) después de la administración de una sola dosis (o después de la exposición a determinada concentración) de una sustancia de prueba o después de dosis múltiples (exposiciones), generalmente en un lapso de 24 horas. La vía más común es la oral, pero este tipo de efectos también se puede estudiar mediante la absorción a través de la piel o por inhalación. Por lo general, se cuantifica al medir la concentración o dosis letal media (DL50 o CL50), es decir, la dosis o concentración derivada estadísticamente de un producto químico capaz de matar a 50% de los organismos de determinada población en condiciones definidas.

**Toxicidad por dosis repetida:** la dosis repetida por un período prolongado de una sustancia que probablemente no tenga ningún efecto con una sola exposición puede causar un grave trastorno funcional o cambio morfológico. Se realizan pruebas de toxicidad de dosis repetidas o subagudas que se prolongan por más de 14 ó 28 días para obtener información sobre la toxicidad de una sustancia química.

Este término se refiere a la capacidad que tienen algunas sustancias para modificar el material genético en el núcleo de las células de modo que ocurran cambios durante la división de éstas. Cuando las mutaciones se producen en las células germinales – espermatozoides y óvulos – existe la posibilidad de que el embrión o feto muera o de que las mutaciones sean transmitidas a generaciones futuras. Cuando las mutaciones se producen en otro tipo de células, pueden ocasionar la muerte de ellas o la transmisión del defecto genético a otras células del mismo tejido. Se dispone de varias pruebas tanto in vivo como in vitro para detectar la mutagenicidad. En algunos casos las alteraciones genéticas pueden ser visibles a través de un microscopio. Otra técnica consiste en el ensayo letal dominante, que usa la incompatibilidad de algunas mutaciones con el desarrollo normal. (Acosta, 2008)

**Toxicidad para la reproducción:** Según Faustman (1996) este término incluye la deficiencia de las funciones o capacidad de reproducción masculina y femenina así como la inducción de efectos dañinos no hereditarios a la progenie.

Es importante realizar la clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos sobre el organismo ya que si ocurriera cualquier accidente se puede saber cómo se puede actuar y proponer las medidas para la prevención de enfermedades relacionadas.

**Irritación:** La irritación dérmica es provocada por las sustancias consideradas como irritantes de la piel causan una inflamación significativa que puede persistir al menos durante 24 horas después de un periodo de exposición de hasta cuatro horas y se

determina comúnmente en estudios con conejos. La sustancia, líquido o sólido (0,5ml o 0,5g), normalmente se aplica en la piel con un parche de gasa en un área de 6 cm durante cuatro horas y el grado de irritación de la piel se "estima" en diferentes intervalos después de haber retirado el parche. (IUPAC, 1993); (Acosta, 2008)

**Irritación de los ojos:** para la prueba de irritación de los ojos, se introduce la sustancia en el ojo (0,1mL o 100mg). La sustancia se clasifica como irritante si se producen lesiones oculares significativas en un lapso de 72 horas después de la exposición y éstas persisten durante 24 horas por lo menos. (IUPAC, 1993)

**Irritación del sistema respiratorio:** la evidencia de una grave irritación en el sistema respiratorio generalmente se basa en la observación en seres humanos y en pruebas con animales y puede incluir datos obtenidos en una prueba general de toxicidad; por ejemplo, los datos histopatológicos del sistema respiratorio. (IUPAC, 1993)

**Sensibilización:** Sustancias que por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilización, de forma que una exposición posterior dé lugar a efectos negativos característicos. La sensibilización comprende dos fases: en la primera exposición se desarrolla el proceso de sensibilización como respuesta al primer contacto con el agente alérgeno. La segunda es el desencadenamiento, es decir, la producción de una respuesta alérgica tras la exposición al alérgeno del individuo previamente sensibilizado. La sensibilización se produce en la mayoría de los casos mediante un mecanismo inmunológico. Las reacciones alérgicas pueden llegar a ser muy graves. Sus manifestaciones más comunes, dependiendo de la vía de exposición, son: rinitis, asma, alveolitis, bronquitis, eczema de contacto, urticaria de contacto y blefaroconjuntivitis. De acuerdo con autores como Klaassen (1996), Acosta (2008) este término se aplica a los procesos de inmunización que hacen que los individuos se tornen hipersensibles a sustancias como el polen, la caspa o compuestos químicos que les hacen

desarrollar una alergia potencialmente dañina al estar expuestos a la sustancia sensibilizadora (alérgeno).

**Corrosión:** Una sustancia se considera corrosiva cuando al aplicarse a la piel animal intacta y sana, destruye totalmente el tejido cutáneo al menos en un animal durante la prueba de irritación de la piel. Es probable que no se requieran pruebas si se puede predecir el resultado; por ejemplo, si se usa un ácido fuerte (pH = 2) o sumamente alcalino (pH = 11,5). (IUPAC, 1993); (Acosta, 2008)

Los productos químicos **mutágenos y teratogénicos** ocasionan aberraciones cromosómicas o malformaciones congénitas dado que presentan el potencial para provocar riesgo irreversible o la muerte de las generaciones futuras. Es necesario advertir el uso y conocimiento de las embarazadas en la manipulación de productos químicos con los cuales se trabaja.

Los riesgos que se derivan de la exposición y la incidencia creciente a nivel mundial de enfermedades asociadas a las sustancias tóxicas reclama los gobiernos de cada país una mayor atención y la adopción de políticas claras y definidas que permitan armonizar el papel de los diversos sectores en la prevención y el manejo integral de estos problemas. (Duffus, 1996)

**Carcinógenos:** Referido a las sustancias químicas que se ha demostrado provocan cáncer en animales o seres humanos, estos productos reconocidos como carcinógenos, o bajo sospecha de provocar cáncer deben estar claramente etiquetados y manejarse en un área específica del laboratorio con equipo protector adecuado y cumpliendo las normas establecidas en su manipulación. Muchos productos químicos son clasificados como posibles sustancias que provocan cáncer. La National Toxicology Program (NTP) y la International Agency for Research on Cancer (IARC) ofrecen una lista de dichos productos. (PNUMA/IPCS, 1999)

#### **1.4 Técnicas de estimación y evaluación de riesgos.**

Según Casal, (2001) y Vílchez, (2006) la evaluación de los diversos riesgos asociados a una determinada instalación industrial o, incluso, al transporte de mercancías peligrosas, se lleva a cabo mediante el análisis de riesgos, orientado a la determinación de los aspectos siguientes:

- Accidentes que pueden ocurrir.
- Frecuencia de estos accidentes.
- Magnitud de sus consecuencias.

Para la realización de un análisis de riesgos el primer paso a tener en cuenta es el estudio de los acontecimientos externos, lo cual no supone ningún procedimiento especial sino un análisis con buen criterio de los peligros posibles. (Casal, 2001)

Una vez identificados los peligros, deben cuantificarse todas sus consecuencias posteriores. Para calcular sus consecuencias se utilizan modelos matemáticos de los accidentes. Conocidos ya los valores aproximados de los efectos, debe establecerse cuáles serán las consecuencias cuando éstos incidan en personas, en bienes o en el entorno, lo cual se suele realizar mediante los denominados modelos de vulnerabilidad, que relacionan efectos y consecuencias. Para realizar un análisis de riesgo completo, deberá determinarse la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los riesgos analizados, a través de un estudio estadístico y de probabilidad. (Casal, 2001)

#### **1.5 Análisis de riesgos. Técnicas de análisis más usadas en la industria.**

Existe un sinfín de metodologías encaminadas a identificar peligros y/o evaluar riesgos ya sea bajo una perspectiva cualitativa o bajo métodos cuantitativos. (Carol, 2001)

Nolan, (2011) define el análisis de riesgos como un término que es aplicado a técnicas analíticas que son usadas para la evaluación de peligros. Técnicamente, el análisis de riesgos es una herramienta para la evaluación de la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de un incidente con implicación de peligro. Estas técnicas pueden ser tanto cuantitativas como cualitativas dependiendo del nivel de análisis requerido.

Casal, (2001) refleja los métodos más utilizados para el análisis de riesgos:

- Métodos cualitativos: Auditoría de seguridad (*Safety review*) análisis histórico de accidentes, análisis preliminar de peligros (*Preliminar Hazard Analysis, PHA*), listados de control, análisis de peligro y operabilidad (*Hazard and Operability Analysis, HAZOP*) y análisis de modos de fallo y efectos (*Failure Mode and Effect Analysis, FMEA*).
- Métodos semicuantitativos: Índice *DOW*, Índice Mond, Índice *SHI* y *MHI* (*Substance Hazard Index and Material Hazard Index*), Árboles de fallos (*Fault Tree, FT*) y Árboles de sucesos (*Event Tree, ET*).

Según Nolan, (2011) en los estudios de análisis de riesgos pueden usarse indiferentemente las técnicas de evaluación cualitativa y cuantitativa para considerar el riesgo asociado con una industria. El nivel y magnitud de estas revisiones deben ser correspondientes con el nivel de riesgo que la industria representa.

Autores como Castro y Arcos (1998) y SPC (2002) plantean que para la realización de un exhaustivo análisis de riesgos existen diferentes técnicas o métodos de apoyo, que se dividen en dos grandes grupos:

- a) Comparativos.
- b) Generalizados.

### **1.5.1 Métodos Comparativos.**

Según Orozco (2009) se basan en la experiencia previa acumulada en un sector industrial determinado. Son muy utilizados en el análisis preliminar de riesgo.

Sobre esta base se encuentran los llamados: Listas de Comprobación, Análisis Histórico de Accidentes, Análisis Preliminar de Peligros (APR) y Normas y Códigos de Diseño

### **1.5.2 Métodos Generalizados.**

Según D.G.P.C. (1997a); D.G.P.C. (1997b) y D.G.P.C. (1997c) son aquellos que requieren de mayor información acerca del proceso a analizar y constituyen poderosas herramientas para la identificación de peligros y análisis de los riesgos asociados. Generalmente se utilizan en una etapa posterior al análisis de riesgo, cuando se han seleccionado aquellos que ameritan una evaluación con mayores niveles de detalle. Entre estos se destacan:

- Análisis de Peligro y Operatividad (por sus siglas en inglés *HAZOP*)
- Análisis “¿Qué sucedería si...?” (*What if?*)
- Análisis de modalidades de falla y sus efectos (*FMEA*)
- Análisis de árbol de fallas (*FTA*)
- Análisis de árbol de eventos (*ETA*)

## **1.6 Descripción de las técnicas de análisis.**

- **Identificación del peligro asociado a las sustancias.**

Según Casal, (2001) el primer paso para una identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial es la identificación y caracterización de las sustancias involucradas en el proceso. Siendo los datos de interés básicamente las propiedades de la sustancia o sustancias involucradas en el proceso.

El interés de estos datos radica principalmente en el efecto que las condiciones de operación producen sobre las sustancias involucradas. El conocimiento de las posibles condiciones de operación normal y anómala permite considerar y eliminar diferentes sustancias como susceptibles de provocar un accidente.

Para identificar estas relaciones entre sustancias y condiciones de proceso se puede utilizar el sentido común, la experiencia y técnicas más sistemáticas como son las matrices de interacción.

➤ **Análisis Histórico de Accidentes.**

El análisis histórico de accidentes es una técnica identificativa orientada a la búsqueda de información de accidentes industriales ocurridos en el pasado. Esta técnica de análisis es esencialmente cualitativa pero también permite extraer resultados numéricos o cuantitativos, si el número de accidentes es suficientemente significativo y permite un análisis estadístico.(Casal, 2001 y Carol, 2001)

Vílchez, (2006) plantea que en el análisis histórico de accidentes se estudian los accidentes ocurridos en fábricas, procesos, instalaciones u operaciones similares a la que se está analizando. Este estudio facilita el establecimiento a priori de los puntos débiles del sistema.

Carol, (2001) cita que el objetivo primordial del análisis histórico es detectar los peligros presentes en una instalación, por comparación con otras similares que hayan tenido accidentes registrados en el pasado. Analizando estos antecedentes es posible conocer las fuentes de peligro, estimar el alcance posible de los daños e incluso, si la información es suficiente, estimar la frecuencia de ocurrencia.

Vílchez, (2006) y las "Guías Técnicas" editadas por las Autoridades Competentes (DGPC-a, 1994; DGPC-b, 1994 y DGPC-c, 1994), proponen esta técnica como

método cualitativo de apoyo a otros sistemas de identificación de riesgos, que requieren una mayor dedicación y especialización técnica, como HAZOP.

Según Casal, (2001) la recogida de información de un accidente debe constituir una verdadera investigación. El estudio detallado del accidente puede enfocarse, a grandes líneas, de dos formas distintas:

- Evaluación de la magnitud de las consecuencias: daños a personas, bienes o medio ambiente.
- Establecimiento de la situación que existía con anterioridad al accidente y de la secuencia de sucesos que lo provocaron.

El conjunto de estas dos vías de investigación permite elaborar el historial del accidente. La información contenida en este historial resulta de gran utilidad para (Casal, 2001):

- Detectar medidas técnicas u organizativas para reducir la probabilidad de que se repitan los accidentes.
- Elaborar medidas de protección, internas y externas, que reduzcan las consecuencias probables del eventual accidente.
- Contrastar los modelos de evaluación de efectos y consecuencias.

El análisis histórico de accidentes, como todas las técnicas de análisis de riesgos posee sus limitaciones. Algunas de estas según Casal, (2001) son:

- La instalación objeto de estudio no es exactamente igual a las que ya han sufrido accidentes.
- La información de los accidentes suele ser incompleta y en muchas ocasiones, inexacta o de uso restringido.
- No da información sobre todos los accidentes posibles sino únicamente sobre los que han sucedido y se han documentado hasta la fecha.
- El acceso a los bancos de datos implica un cierto costo.

Además Carol, (2001) señala sobre las limitaciones de este método que la información recogida es limitada, ya que solo se registran incidentes que acaban en eventos de relativa importancia y se obvian incidentes potencialmente más peligrosos que los anteriores pero que por circunstancias fortuitas favorables no desencadenan un gran accidente. Así mismo las informaciones recogidas no son completas y están afectadas de impresiones importantes, lagunas y datos confidenciales desconocidos.

➤ **Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP).**

El análisis de peligros y operabilidad (*HAZrd and OPerability Analysis*, HAZOP), es un método que fue diseñado en Inglaterra en la década de los sesenta por *Imperial Chemical Industries (ICI)* para aplicarlo al diseño de plantas de fabricación de pesticidas. (Casal, 2001)

Nolan, (2011) plantea que HAZOP es una técnica de revisión cualitativa de investigación sistemática. Se emprende para realizar un examen crítico sistemático del proceso que ya se encuentra en funcionamiento o que está en la fase de proyecto. Para evaluar el potencial de riesgo que se levanta en conjunto de la desviación en las especificaciones del plan y los efectos en la industria en general. Esta técnica normalmente se realiza por un equipo calificado que usa una técnica de incitar palabras guías para identificar las preocupaciones del plan intencional. De estas palabras guías, el equipo puede identificar escenarios que pueden resultar un riesgo o un problema operacional. Entonces se discuten las consecuencias del riesgo y medidas para reducir la frecuencia con que el riesgo ocurrirá. Esta técnica ha ganado la aceptación entre las industrias de procesos, como una herramienta eficaz para la seguridad de la planta y mejoras de operabilidad.

Vílchez, (2001), Knowlton, (1981) y Ramos, (1987) señalan que la metodología de análisis de riesgos más usada es HAZOP. Y que este método se fundamenta en el

hecho de que la probabilidad de que aparezcan problemas aumenta cuando las condiciones y variables de operación se alejan de sus valores normales. En él se utilizan una serie de palabras guías (no, más, menos, otro, etc.) destinadas a facilitar la búsqueda de posibles desviaciones al ser aplicadas sistemáticamente a los diferentes componentes de la instalación estudiada. Esta es una tarea que hay que realizar en equipo, muy metódica y según un procedimiento formalizado, generándose una notable cantidad de información sobre las condiciones de deriva de la instalación y los sistemas de control que permiten corregir esta situación.

El paso previo para el desarrollo del análisis es la definición del objetivo y el alcance del estudio, de los límites físicos de la instalación o el proceso que se quiera estudiar y de la información requerida. Además debe estudiarse el sistema o proceso ya definido para conocer la información disponible, prepararla, organizar el equipo de estudio, planear la secuencia de estudio y las sesiones de trabajo. (Servicio de Protección Civil de Barcelona, 2002 y Casal, 2001)

El método de análisis HAZOP presupone tres hipótesis que constituyen sus principales limitaciones. (Casal, 2001 y Servicio de Protección Civil de Barcelona, 2002):

- La instalación está bien diseñada, en relación con la experiencia, el conocimiento de los procesos implicados y la aplicación de las normas y códigos pertinentes.
- Los materiales de construcción han sido los adecuados y la construcción y el ensamblaje se han hecho correctamente.
- Los análisis son una “fotografía instantánea” donde se mezclan sucesos de efecto inmediato con sucesos de elevada inercia temporal.

“El resultado principal de los análisis HAZOP es un conjunto de situaciones peligrosas y problemas operativos y una serie de medidas orientadas a la reducción del riesgo existente o a la mitigación de las consecuencias de los problemas

operativos. El análisis HAZOP es un instrumento de estudio muy indicado para procesos en fase de diseño y construcción, donde la documentación está totalmente actualizada y las recomendaciones del análisis no suponen modificaciones costosas ni paros en la planta. Por otro lado, a causa de la laboriosidad del método y del grado de detalle que el estudio proporciona, el análisis HAZOP solo es indicado para instalaciones específicas y no como método general de análisis.” (Casal, 2001)

➤ **Árboles de Fallos.**

La elaboración de Árboles de Fallos (*Fault Tree (FT)*) es una técnica de análisis creada por *Bell Telephone Laboratories* al inicio de la década de los sesenta, para mejorar la fiabilidad del sistema de control del lanzamiento de cohetes. Posteriormente, su utilización se extendió a otros campos de la industria y en especial, fue muy empleada en la industria nuclear. (Casal, 2001)

El análisis mediante Árboles de Fallos según señala Carol, (2001) es una técnica cuantitativa que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un fallo determinado a partir del conocimiento de la frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores y causales mediante la utilización de procesos lógicos inductivos y la confección de una secuencia lógica de sucesos, denominada, Árbol de Fallos.

Nolan, (2011) añade que el Árbol de Fallos es una técnica que se enfoca en un incidente en particular, a menudo llamado evento inicial, y entonces se construye un diagrama de sucesiones lógicas de todas las secuencias de eventos concebibles que pudiera llevar a ese incidente.

Los fallos que se dan en sistemas técnicos pueden ser básicamente de dos tipos (Casal, 2001):

- Fallos primarios: aquellos atribuibles a defectos de los componentes y no a la interacción con el exterior (por ejemplo, una soldadura mal hecha, etc.).

- Fallos Secundarios: aquellos atribuibles a la interacción del exterior con los componentes. Estos siempre son el resultado de condiciones anómalas de funcionamiento y tienen una causa bien definida.

El primer paso para la elaboración de un Árbol de Fallos es un estudio previo del sistema o proceso que se quiere analizar con el fin de determinar los incidentes susceptibles de ser analizados. Este estudio suele realizarse con otras técnicas de identificación, como el análisis histórico de accidentes, análisis HAZOP, etc. (Casal, 2001 y Nolan, 2011)

Una vez determinados los accidentes que se quieren analizar, deben establecerse los límites de la instalación. Seguidamente, es necesario identificar los fallos de los elementos y las relaciones lógicas que conducen al accidente. El proceso finaliza cuando todos los fallos identificados son primarios y no es posible determinar sus causas. (Casal, 2001)

Existen dos maneras de analizar los Árboles de Fallos, de forma cualitativa y de forma cuantitativa. El análisis cualitativo que posibilita conocer los conjuntos mínimos de corte. Donde cada uno de los conjuntos mínimos representa una manera distinta de llegar al suceso no deseado. Los métodos cualitativos de análisis de Árboles de Fallos son básicamente los métodos analíticos, el cálculo matricial y los métodos numéricos. Mientras que el análisis cuantitativo permite calcular básicamente la frecuencia de acontecimiento de un accidente y la indisponibilidad del sistema. (Casal, 2001)

La elaboración de Árboles de Fallos requiere una elevada formación técnica, junto con un conocimiento detallado del sistema o proceso y de sus modos de fallo. Además, se requiere que por lo menos la información sobre el proceso sea completa en las partes más esenciales. El nivel de detalle de la información disponible condiciona el nivel de detalle del análisis.

La limitación principal de la metodología es que únicamente se pueden representar fallos “totales”, es decir, siempre se considera el fallo completo del elemento involucrado en la cadena de sucesos que conduce al accidente y representan fotografías instantáneas del proceso. (Casal, 2001)

La ventaja principal de esta técnica es su representación gráfica pues es un modelo gráfico en forma de árbol invertido que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo del sistema. (CCPS, 1992)

➤ **Checklists o Lista de Comprobación.**

Las *checklists* o listas de comprobación son utilizadas usualmente para determinar la adecuación a un determinado procedimiento o reglamento (*The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research*, 1997).

Según el Servicio de Protección Civil de Barcelona, (2002) las *checklist* son listas escritas de detalles o pasos, que tiene como fin el verificar el estado de un sistema. Las *checklists* contienen posibles fallos y causas de sucesos peligrosos. Están basadas en la experiencia en la operación, y son muy empleadas en los análisis de riesgos. Tradicionalmente las *checklists* varían mucho en su nivel de detalle, y se usan frecuentemente para comprobar la adecuación a estándares y prácticas empleadas.

El propósito de una *checklist* es proporcionar un estímulo en la valoración crítica de todos los aspectos del sistema, más que determinar requerimientos concretos. En general, una *checklist* es enormemente útil para identificar peligros habituales y conocidos. (Servicio de Protección Civil, 2002)

Además es un método que permite comprobar con detalle la adecuación de las instalaciones. Constituye una buena base de partida para complementarlo con otros métodos de identificación que tienen un alcance superior al cubierto por los

reglamentos e instrucciones técnicas. Sin embargo, es un método que examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de un reglamento o procedimiento determinado. (Servicio de Protección Civil, 2002)

➤ **Método del Árbol de Sucesos.**

“El Árbol de Sucesos o análisis de secuencias de sucesos es un método inductivo que describe la evolución de un suceso iniciador sobre la base de la respuesta de distintos sistemas tecnológicos o condiciones externas. Partiendo del suceso iniciador y teniendo en cuenta los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias accidentales que conducen a distintos eventos.” (Servicio de Protección Civil, 2002 y Dirección General de Protección Civil, 1994)

Wells, (2003) señala que los Árboles de Sucesos son la mejor herramienta para el análisis de consecuencias. Estos son usados para realizar un análisis probabilístico. El cual se organiza mediante una estructura de árbol en la que cada bifurcación se decide a partir de la ocurrencia de un fenómeno u otro.

La construcción del árbol comienza por la identificación de los N factores condicionantes de la evolución del suceso iniciador. A continuación se colocan estos como cabezales de la estructura gráfica. Partiendo del iniciador se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo. (Servicio de Protección Civil, 2002 y Dirección General de Protección Civil, 1994)

De esta forma, se obtienen  $2^N$  combinaciones o secuencias teóricas. Sin embargo, las dependencias entre los sucesos hacen que la ocurrencia o éxito de uno de ellos pueda eliminar la posibilidad de otros, reduciéndose así el número total de secuencias. La disposición horizontal de los cabezales se suele hacer por orden

cronológico de evolución del accidente. (Servicio de Protección Civil, 2002 y Dirección General de Protección Civil, 1994)

Carol, (2001) plantea que una vez realizado el análisis se obtiene una representación gráfica en forma de árbol horizontal en la que quedan representadas todas las posibles evoluciones del sistema según se den o no las diferentes alternativas planteadas hasta los sucesos accidentales finales (BLEVE, nube de gas, explosión, dispersión, etc.).

Wells, (2003) establece los siguientes pasos para el análisis de Árboles de Sucesos:

1. Identificar el evento iniciador que generalmente es un evento de fallo correspondiente al escape de un material peligroso.
2. Identificar el desarrollo del incidente.
3. Construir el árbol de evento. Este es construido de izquierda a derecha, en cada nodo se muestran las alternativas analizadas.
4. Clasificar los resultados del incidente.
5. Estimar la posibilidad de ocurrencia de cada suceso.
6. Clasificar los resultados y determinar su probabilidad.

Según el Servicio de Protección Civil, (2002) y la Dirección General de Protección Civil, (1994) la metodología del Árbol de Sucesos posee las siguientes ventajas y desventajas.

*Ventajas:*

- Permite un estudio sistemático y exhaustivo de la evolución de un suceso.
- Su aplicación es muy sencilla.

*Inconvenientes:*

- El valor obtenido está sujeto a incertidumbre por la dificultad que existe normalmente en evaluar las probabilidades de los factores asociados.

- Si el árbol es grande, su tratamiento puede hacerse laborioso.

Carol, (2001) hace énfasis en que por su especificidad y grado de desarrollo son aplicables a las mismas instalaciones y bajo las mismas condiciones de los Árboles de Fallos.

- **¿Qué pasa si...? o *What if?***

Nolan, (2011) señala que este es un método de revisión de seguridad mediante las preguntas de investigación ¿Qué pasa si? que se preguntan por un equipo experimentado y conocedor del sistema bajo revisión dónde hay preocupaciones sobre los posibles eventos indeseados y donde posteriormente se proporcionan recomendaciones para la mitigación de riesgos identificados.

“El objetivo fundamental de este método es la detección y análisis de las desviaciones sobre los procesos y condiciones previstas intentando evitar aquellos eventos que pueden resultar no deseables. Básicamente consiste en responder cualitativamente a una batería de preguntas del tipo ¿Qué pasa si? En relación con la cantidad o la concentración de las materias primas o en relación con las variables del proceso o los servicios necesarios.

Para llevar a cabo este análisis de forma estructurada se recomienda seguir la línea de proceso desde la recepción de los materiales hasta la entrega del producto terminado. En la primera fase se le pide a los participantes que planteen cualquier pregunta del tipo ¿Qué pasa si? en relación con cada unidad o etapa del proceso. Una vez recopiladas todas estas situaciones se intentará dar respuesta a cada una de ellas con la participación de especialistas si fuera necesario. Una vez identificados los peligros y sus posibles consecuencias deben proponerse las medidas disponibles para minimizarlos.

Resulta un sistema muy creativo y de simple aplicación (y por tanto muy económico). Sin embargo, aun realizándose de modo estructurado, puede pasar por alto algunos peligros menos evidentes pero no por ello menos graves.” (Carol, 2001)

➤ **Análisis de modalidades de falla y sus efectos (por sus siglas en inglés FMEA)**

Según Muñoz, (2009) es una técnica muy utilizada en los sistemas de calidad para identificar causas de fallos. Se inicia el estudio identificando todos los equipos de la planta y estableciendo sus condiciones normales de proceso. A continuación, para cada equipo, se detallan todos y cada uno de los fallos posibles y se analizan sus posibles consecuencias. Si se da la circunstancia de que una situación de fallo en un equipo produce una alteración en otro, debe trasladarse esta influencia al estudio del equipo afectado. Una vez conocidas las consecuencias, se deben proponer las acciones de mejora necesarias para eliminar o reducir el peligro. En general, para cada elemento se complementa una tabla con las siguientes columnas: elemento, descripción del equipo, modo de fallo, forma de detección del fallo, efectos del fallo y medidas correctoras.

Haciendo un análisis de los métodos expuestos anteriormente y la situación actual de la industria objeto de estudio se toma la decisión de utilizar para el análisis de riesgos el método FMEA o Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos, siendo este escogido teniendo en cuenta que el mismo se encuentra en el rango de los métodos de análisis cualitativos pero que también cuantifica, además de su poca complejidad de aplicación, aunque tiene como inconveniente la no contemplación de posibles fallos combinados o en secuencia. Para apoyar el resultado del método anterior, se aplicara también el Método de Análisis de Peligro y Operabilidad o *HAZOP* ya que es uno de los métodos más utilizados en estos tipos de estudios, además de que se pretende que la empresa lo utilice como una guía de operación propia de la planta para evitar los incidentes que puedan ser detectados.

### **1.7 Conclusiones Parciales.**

1. De acuerdo con la gestión de riesgos químicos se determinó la necesidad de realizar la caracterización de las sustancias, por las propiedades dañinas que pueden presentar para el personal de trabajo como son: toxicidad aguda, irritación, sensibilizadoras, corrosivas, mutagénicas, carcinogénicas entre otras.
2. Se determinó que dos de los métodos más utilizados para realizar valoraciones cualitativa de riesgos son : Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos (FMEA) y el Análisis de Peligro y Operabilidad (*HAZOP*)

## **Capítulo 2. Materiales y Métodos.**

En este capítulo se desarrolló la caracterización del proceso tecnológico y sus equipos principales, con el objetivo de lograr un alto conocimiento del mismo para luego poder aplicar las técnicas de análisis de riesgos expuestas a continuación.

### ***2.1 Caracterización del Proceso.***

El traslado de las frutas comienza desde los frentes de cosecha a través de camiones hasta la industria, luego se procede a su pesaje en la báscula, pasando hasta el área de recepción donde se descargan. En este sitio es tomado al azar una muestra de tres unidades independientemente del volumen y de especie, para analizar algunos parámetros de calidad de las frutas, se determina el Brix, índice de madurez, acidez, distribución de calibre y contenido de jugo. Desde el área de descarga son transportadas y elevadas por cintas transportadoras y elevadores de cangilones hasta los silos pasando por una mesa de preselección donde son separados las piedras, palos, pedúnculos, ramas con hojas que puedan aparecer. Después de un almacenamiento temporal en los silos, la fruta es trasladada por cintas transportadoras hasta las tres líneas de trabajo, cada una constituida por:

Una lavadora, en este equipo las frutas son lavadas con agua tratada con hipoclorito de sodio, el contenido de cloro en el agua tiene que ser de 0.5 – 1.0 p.p.m para eliminar posibles bacterias o microorganismos presentes en las frutas. El recorrido continúa, elevando las frutas por un elevador de cangilones hasta la tolva de alimentación a la mesa de selección donde son separadas las frutas no aptas para el procesamiento, en mal estado, muy sucias, etc. Después pasan por una máquina de calibración o calibradora que está acoplada a la mesa de selección, esta operación se realiza con el fin de separar la fruta en tres calibres o tamaño y así facilitar la correcta extracción del jugo.

Los grupos de frutas calibradas se distribuyen en las cintas que alimentan los extractores, las que están divididas longitudinalmente de acuerdo al diámetro de las

copas, que coinciden con el calibre de las frutas que le llega, cuando el extractor está a máxima capacidad las frutas sobrantes no son asimiladas por él, por lo que regresan a las tolvas mediante cintas transportadoras que se llaman cintas de retorno. Los extractores están divididos en tres líneas de trabajo y según el calibre de las frutas:

Los extractores son los encargados de obtener por separado las tres corrientes principales del proceso de producción: **el jugo, la emulsión de agua-aceite y los desechos sólidos.**

A partir del **jugo** extraído se obtienen cuatro productos mediante procesos diferentes:

- Obtención de jugo simple.
- Obtención de jugo natural aséptico.
- Obtención de celdillas cítricas.
- Obtención de jugo concentrado congelado.
- Aceites esenciales.

**Jugo Simple Congelado:** al jugo obtenido en los extractores se le separa la pulpa grosera en los tamizadores y a diferencia del proceso de jugo concentrado, este no pasa por los evaporadores sino que de forma natural se envasa en tanques de 10 000 litros donde se prepara el lote, con los requisitos adecuados y mediante una bomba se alimenta a un intercambiador de calor donde se pasteuriza el jugo en intercambio con vapor. El jugo de naranja es pasteurizado a una temperatura que oscila entre 96 – 98 °C y el de toronja entre 94 – 96 °C, en ambos casos con retención de 10 s. El jugo que entra al pasteurizador es precalentado, posteriormente es sometido a un primer enfriamiento con agua de torre, y después pasa por otros dos intercambiadores de calor a placas que utiliza como agente refrigerante el glicol para enfriarse hasta 4 °C, ya con esta temperatura se puede envasar y el flujo es bombeado a la llenadora, se envasa en dos bolsas de nylon que van dentro de los bidones, una vez llenas las bolsas con el peso requerido se amarran con un atalazo,

posterior a esto es tapado el bidón, asegurada su tapa y almacenados en las cámaras frías a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para su posterior exportación.

**Jugo Natural Aséptico:** el jugo obtenido en los extractores se le separa la pulpa grosera en los tamizadores y de la misma manera que cuando se produce jugo simple o natural congelado este se almacena en los tanques de 10 000 litros donde se prepara el lote con los requisitos adecuados y mediante una bomba y una válvula de tres vías se alimenta a otro tanque de balance que pertenece a la línea de jugo aséptico, desde este pasa a un desareador, después pasa por un intercambiador de calor (previamente limpio y estéril) donde se pasteuriza el jugo en intercambio con agua - vapor, con el objetivo de eliminar microorganismos y bacterias. El jugo después de alcanzar la temperatura fijada para su pasteurización es sometido a un primer enfriamiento con agua de enfriamiento y después pasa por la sección de enfriamiento, el proceso es totalmente automatizado y el jugo va directamente a la llenadora aséptica, se envasa en bolsas especiales de alta barrera y el producto final no necesita refrigeración, entonces se envasan en bidones o bins para su posterior exportación.

**Celdillas Cítricas:** en este proceso no se separa el jugo de la pulpa, pues es ahí donde están contenidas las bolsitas de jugo o celdillas. En este proceso se separan los defectos en unos ciclones, después se pasteuriza con un control estricto de la temperatura, se enfrían, se tamiza controlando el % de celdillas y se envasa el producto terminado.

**Aceites Esenciales:** La emulsión proveniente de los extractores pasa primeramente por un filtro rotatorio con el fin de separar las partículas de mayor diámetro, posteriormente son separadas las partículas de un diámetro mayor a 0.2 mm en un filtro parabólico, la mezcla de agua, aceite y lodos es sometida a centrifugación de dos etapas una centrífuga deslodadora, y otra centrífuga pulidora que es la que separa todos los lodos del aceite esencial. Después va al proceso de descerado

(formación de ceras) en cámaras de congelación, las ceras se eliminan por decantación. El producto se envasa en bidones de acero. Una vez llenos se almacenan en cámaras refrigeradas a temperatura entre 5 y 10 °C.

**Los desechos sólidos** de la fruta (corteza, hollejos y semillas) son transportados a través de tornillos helicoidales hasta almacenarse en tolvas para ser distribuido en camiones como hollejo húmedo para la alimentación del ganado.

**Jugo Concentrado Congelado** siendo la producción principal de esta industria y que constituye el objeto de este trabajo, es por ello que se detalla a continuación.

El jugo obtenido en los extractores se le separa la pulpa grosera en los tamizadores y pasa a los evaporadores, equipo en el cual por intercambio con vapor de agua se le extrae al jugo, la esencia y el agua que este contiene. Los evaporadores aplican el principio de regulación de la temperatura de ebullición, por enrarecimiento del aire (vacío), como en el vacío la temperatura de ebullición es más baja que la que sería en la presión atmosférica normal, es posible producir un producto de alta concentración, preservado sus características organolépticas.

La aplicación de este principio de la termodinámica, permite además la totalidad o casi totalidad de explotación del calor, con importantes ahorros en el costo del producto final.

El jugo entra a la primera etapa por la boca del difusor. Esta boca parecida a la de un diábolo, hecha con un diseño especial, hace que el chorro de jugo se abra en multitud de pequeños chorros y gotas que han adquirido gran velocidad de descenso y haciendo una distribución uniforme del jugo por el haz de tubos del evaporador. De esta manera entran por todos los tubos interiores del evaporador sin llenarlos, dato este a tener en cuenta porque inmediatamente este espacio libre será ocupado por el vapor de jugo al entrar este en contacto con el calor procedente del vapor.

Ambos vapor de jugo y jugo líquido (con menos agua) desembocan en la cámara inferior del evaporador, en esta cámara el jugo concentrado sigue su caída hasta la entrada de la otra etapa o a la bomba de trasiego.

Al evaporarse gran parte del agua que contenía el jugo se obtiene concentrado. Este jugo ya sea de naranja o toronja es enviado a los tanques de ajuste cada uno de

20 000 L y provistos de agitadores con el objetivo de homogenizar el lote, si el concentrado queda pasado del Brix previsto se le agrega agua de la que se separó del jugo en el concentrador, y si queda por debajo del Brix se le añade concentrado hasta llevarlo al valor adecuado. Estos tanques están contruidos de acero inoxidable y presentan un doble forro por donde circula amoníaco como agente refrigerante para conservar su temperatura, ajustado el Brix, y el lote homogéneo, el jugo concentrado se bombea hacia la llenadora, donde el producto es envasado en dos bolsas de nylon que van dentro de los bidones, una vez llenas las bolsas con el peso requerido, se amarran con un atalazo, posterior a esto es tapado el bidón, asegurada su tapa y almacenados en las cámaras frías a  $-15^{\circ}\text{C}$ , listos para su exportación. (Departamento de tecnología, revisión 2009a)

## ***2.2 Caracterización de los principales equipos.***

Son varios los equipos que forman parte de la configuración tecnológica de la planta de producción, dentro de los principales se encuentran:

### **Extractores**

Estas son máquinas que se basan en el principio único de extracción y para esta operación no es necesario partir la fruta, estas se alimentan a la bandeja en cantidades de tres o cinco fruta según el calibre y se le extrae el zumo. Se separa también los aceites esenciales y los desechos sólidos.

Este equipo tiene varias piezas y accesorios, la mayoría de estas están construidas en aceros inoxidables, el cárter es de aluminio fundido y algunos de sus componentes se construyen en acero. Las partes que están en contacto con el jugo que se extrae todas son de acero inoxidable AISI 316, material que es resistente a la corrosión.

Para su buen funcionamiento en general, es importante velar que los parámetros fundamentales de operación estén en los valores adecuados, por ejemplo:

- la presión (6 bar) y caudal de aire (14 l/min)
- caudal de agua para el arrastre de la emulsión de aceite (1 000 l/h)

Sus dimensiones son aproximadamente 0.990 m de ancho, 1.170 m de largo y 2.5 m de altura.

Esta máquina es capaz de procesar 3-4 ton de fruta en una hora.

Este sistema de extracción garantiza buena calidad en los jugos obtenidos, y trabaja con una eficiencia de 99%. Pertencen al área de extracción, funcionan 22 horas diarias durante 10 meses, tienen 2 horas de mantenimiento preventivo. En los meses de reparaciones (cuando la industria no produce), la reparación es total.

### **Tamizadores**

En cada una de las líneas existe un tubo colector que recoge por gravedad el jugo procedente de las cajas de jugo de los extractores, posteriormente pasa por 4 tamizadores de jugo donde este es filtrado y se elimina la pulpa grosera, construidos de acero inoxidable, lleva incorporado un controlador neumático de salida de pulpa incluyendo controlador y manómetro de 3 Kg./cm<sup>2</sup> máximo, en esta operación se controla la presión en el tamizador, la fibra rápida (ajuste del tamizador) y la pulpilla (o presencia de pulpa grosera en el jugo) controlando así el normal funcionamiento de los tamizadores.

## Evaporadores

Los evaporadores TASTE (Termo Acceleration Short Time Evaporator), son los encargados de concentrar el jugo obtenido de la fruta, estos aplican el principio de reducción de la temperatura de ebullición por enrarecimiento (vacío) del aire. Se obtienen productos concentrados sin deterioro de sus características organolépticas.

Estos son evaporadores de múltiplo efecto que quiere decir que el vapor se usa más de una vez antes de perderse en la condensación. Están compuestos por varias etapas de evaporación que son cuerpos con un haz de tubos dentro de una coraza.

En estos intercambiadores es importante el control de varios parámetros de operación para su buen funcionamiento como son:

- caudal de vapor (4 500 kg/h)
- presión de vapor (13 kg/cm<sup>2</sup>)
- presión del vacío (- 0.9 kg/cm<sup>2</sup>)
- temperatura a la salida (máximo 15°C).

La estructura de estos equipos es de acero al carbono, las tuberías y accesorios que están en contacto con el producto son de acero inoxidable 316. Para evitar la corrosión en las partes de acero común se prepara la superficie y se recubre con pinturas primarias y secundarias epóxicas cada cierto tiempo.

Las dimensiones aproximadas de estos equipos son:

Largo: 7 m

Ancho: 5 m

Altura aproximada: 30 m

La capacidad de evaporación total es de 68039 Kg/h de agua evaporada. Dos de estos evaporadores son de 18144 Kg/h cada uno, uno de 4536 Kg/h y el otro de 27216 Kg/h.

Pertenecen al área de evaporación de jugo, funcionan 22 horas diarias durante 10 meses. En la etapa de reparaciones se abren algunos elementos y se le da mantenimiento a diferentes partes y accesorios de los mismos.

### **Llenadora**

Después de estandarizado el lote con las características de calidad requeridas el jugo concentrado es bombeado hacia la llenadora, este equipo es semiautomático y es donde se envasa el producto terminado en bidones de 200 L, estos pasan a almacenarse en cámaras de congelación para su posterior exportación.

Está formada por un sistema de válvulas automáticas que funcionan según la señal de unos sensores o celdas de carga que se encuentran en la báscula para garantizar que cada bidón tenga el peso requerido.

Está construida de acero inoxidable AISI 316 resistente a la corrosión.

Tiene una capacidad de 15 t/h.

Pertenece al área de llenado, solo funciona cuando se envasan los productos terminados. El tiempo de trabajo es aproximadamente 10 horas al día, su mantenimiento es preventivo durante el tiempo que no está funcionando.

### **Generadores de vapor (calderas)**

Son generadores de vapor automáticos para la producción de vapor saturado de emplazamiento fijo y horizontal, de hogar cilíndrico y ondulado, cámara de fuego y doble haz tubular (tubos de humo) y dos cajas de humo, una delantera y una trasera.

Los gases producto de la combustión recorren el hogar hasta alcanzar la cámara de fuego (primer paso) donde a través del haz tubular los gases son conducidos a la cámara de humo delantera (segundo paso). De esta caja parte un segundo haz tubular que conecta con la caja de humo posterior (tercer paso de humos) desde este punto los humos son transportados al exterior a través de la chimenea.

El cuerpo está construido totalmente de acero 106 grado B (según norma ASTM-API).

Parámetros de operación:

Superficie de calefacción: 426.3 m<sup>2</sup>

Volumen de agua a nivel normal: 38.63 m<sup>3</sup>

Presión de diseño: 15 bar

Presión de trabajo: 13 bar

Presión de prueba: 22.5 bar

Temperatura de servicio: 194.9 °C

Temperatura de diseño: 201.2 °C

Su capacidad es de 16 000 kg/h de vapor.

Existe un tanque de agua de alimentación de 50 m<sup>3</sup>, que se alimenta con agua tratada o suavizada proveniente de la planta de tratamiento de agua, a este depósito también se le inyecta el agua de condensados de algunos procesos. Se le realiza tratamiento interno con un producto nombrado VAPEN 300 que no es más que un producto integral anti incrustante, anticorrosivo formulado a base de terpolímeros dispersantes de alto rendimiento, polifosfatos, sulfito catalizado antiespumante e inhibidor de fragilidad cáustica.

## **Sistema de refrigeración**

Está compuesto por 6 compresores, en doble etapa de compresión, un condensador evaporativo, 2 bombas de agua, 2 bombas de amoniaco. Tiene una capacidad de 500 toneladas de refrigeración y garantiza la distribución del frío a todos los consumidores, tiene un sistema de alta temperatura (+5<sup>0</sup>C) y uno de baja (-30<sup>0</sup> C) y sus principales parámetros de operación son:

Sistema de baja: Temp. de evaporación -30<sup>0</sup> C y Presión de evaporación: 0.21 kg/cm<sup>2</sup>. La descarga ocurre a un nivel intermedio: Presión 2.5 kg/cm<sup>2</sup> y -5<sup>0</sup> C de temperatura.

Sistema de alta: Succiona del nivel intermedio (Presión 2.5 kg/cm<sup>2</sup> y -5<sup>0</sup> C de temperatura) y descarga al condensador evaporativo a una presión de 12.5 kg/cm<sup>2</sup> y temperatura de condensación de 35<sup>0</sup> C.

## **Almacén Refrigerado (frigorífico)**

El almacén ocupa un área de 72 m de largo por 54 de ancho. Cuenta con 5 cámaras, 3 de ellas para la congelación y las dos restantes para refrigeración. (Temperatura de mantenimiento +5<sup>0</sup>C), en su interior se pueden almacenar 1500 t de jugo, aproximadamente 8 000 bidones.

### ***2.3 Aplicación de las técnicas de análisis de riesgos.***

Para lograr un resultado satisfactorio de los principales riesgo que puede presentar la industria objeto de estudio, se decidió aplicar tres técnicas de análisis de riesgos en conjunto con el apoyo del software Statgraphics para analizar parámetros del proceso. En principio se desarrolla la técnica de peligros asociados a las sustancias, para detectar las sustancias que pueden provocar daños para el ser humano, el medio ambiente y los bienes materiales. El método de HAZOP, para detectar causas y consecuencias que puedan presentar los principales equipos y el FMEA para detectar fallas y cuantificarlas según su índice de gravedad.

### **2.3.1 Identificación de Peligros asociados a las sustancias.**

El primer paso para una identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial es la identificación y caracterización de las sustancias involucradas en el proceso. Los datos de interés para el análisis posterior son básicamente las propiedades de las sustancias según Casal (2001).

Las sustancias dañinas presentes en el proceso de producción de jugo concentrado congelado son: Amoniaco, ASEP 150 y Sosa Caustica.

Según Orozco (2007), la caracterización de las sustancias involucradas en un proceso se desarrolla mediante la siguiente guía:

Identificación del producto.

- Nombre del producto.
- Fórmula Química.
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.

Datos Físicos.

- Apariencia.
- Punto de ebullición.
- Punto de fusión.
- Solubilidad.
- Densidad.
- TLV - Límite superior de inflamabilidad.
- IPVS. Límite inferior de explosividad.
- Punto de congelación.
- Temperatura de auto ignición.
- Coeficiente de expansión.
- Temperatura de inflamación.
- Biodegradabilidad.

- Corrosión.
- Capacidad calorífica.

Peligros para la salud.

- Concentración permisible.
- Exposición permisible.
- Emergencias.
- Partes del cuerpo que afecta.
- Forma de entrada al organismo.
- Toxicidad (se debe llenar una tabla con la siguiente información).

**Tabla 2.1** Modelo para la clasificación toxicológica de la sustancia analizada.

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. Aguada	Irritación	Sensibilización	Tox. dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	Tox. para reproducción

Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- Nombre del producto almacenado.
- Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal, etc.).
- Dimensiones del recipiente (largo, ancho, diámetro).
- Material de construcción.
- Protección del recipiente (interior o exterior).
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización.
- Fecha de fabricación del recipiente.
- Condiciones de almacenamiento de las sustancia.
- Cantidad de sustancia almacenada.
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).

- Tipo de averías producidas.
- Condiciones de almacenamiento (presión, temperatura, etc.).
- Características de los alrededores del recipiente.

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso.
- Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura).
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.
- Material de construcción de los equipos donde es usada.
- Protección del sistema de tuberías.

### **2.3.2 Metodología empleada para el Análisis de riesgo por HAZOP**

El análisis de peligro y operabilidad (*Hazard and Operability Analysis, HAZOP*), es un método que fue diseñado en Inglaterra en la década de los setenta *Imperial Chemical Industries (ICI)* para aplicarla al diseño de planta de pesticidas según Casal (2001).

También conocido como análisis de riesgo y operabilidad, se utiliza para la identificación, evaluación cualitativa y prevención del riesgo potencial y de los problemas de operación derivados del funcionamiento incorrecto de un sistema técnico, lo cual se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema, quien puede provocar desde una parada del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias. Por tanto el análisis HAZOP se realiza teniendo como punto de partida esta metodología y siguiendo el diagrama lógico de ejecución que se muestra a continuación.

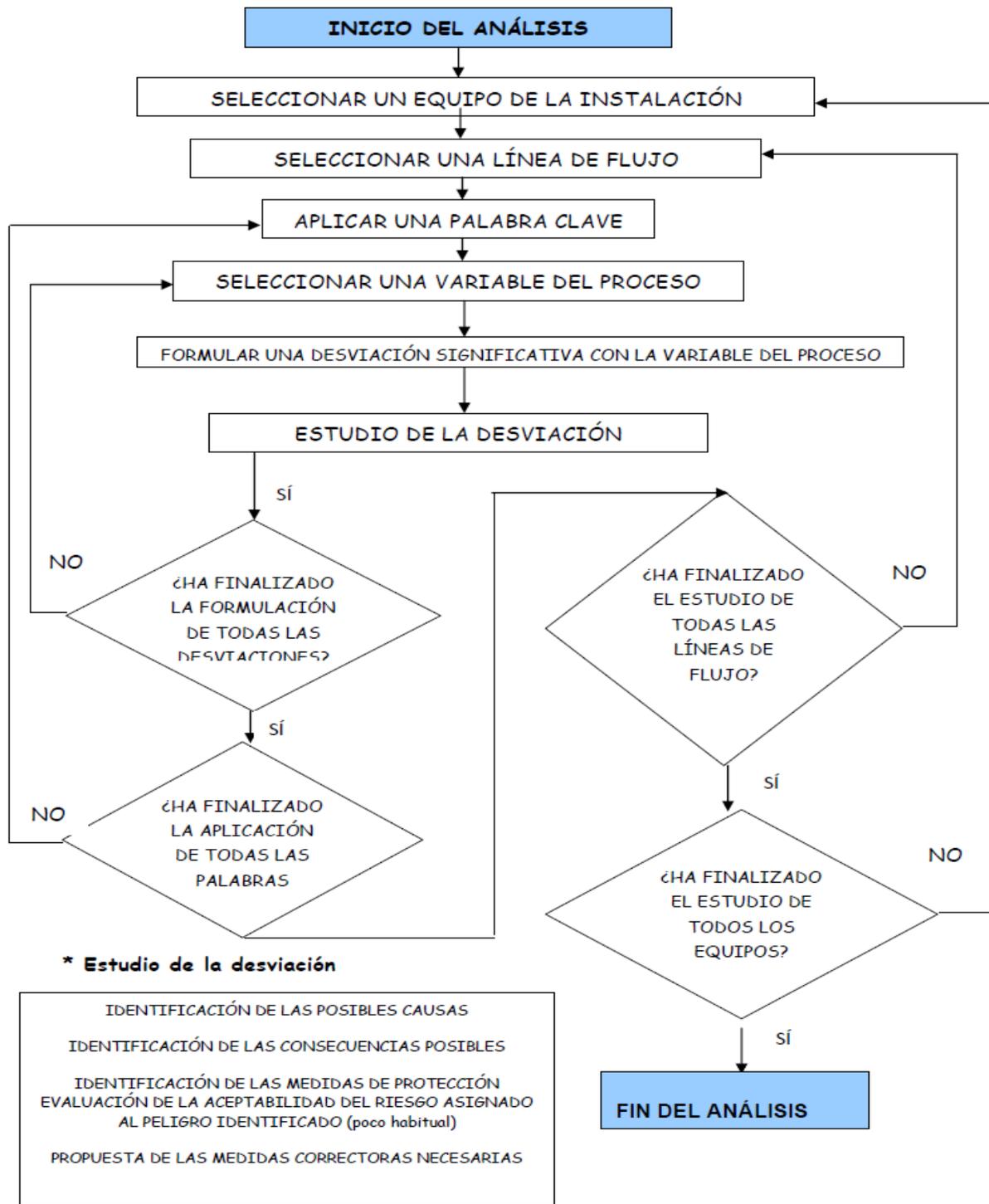


Figura 2.1 Diagrama lógico de ejecución para el análisis de HAZOP.

Para que el análisis HAZOP sea efectivo se requiere de los diagramas de tuberías e instrumentación (**anexo # 1**) y de un equipo multidisciplinario que posibilite una evaluación de las consecuencias de cada desviación, desde diferentes puntos de vista.

Se utilizan palabras guía (No, Más, Menos, Además de, Diferente de) para evaluar en forma sistemática el efecto de anomalías en las acciones (reacciones, transferencia) o en parámetros específicos (presión, temperatura, concentración, caudal). Las mismas se encuentran expuestas en la tabla del **anexo # 2**.

Tabla 2.2 Síntesis de análisis de riesgo por *HAZOP*.

Palabra Guía	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias	Medidas a tomar

El estudio se realiza en diversas secciones de trabajo, de una duración no superior a dos o tres horas, donde la carga de trabajo tiene que ser racional para motivar y estimular la creatividad y la imaginación del equipo de estudio y garantizar así la utilidad de los resultados obtenidos.

El resultado principal de los análisis HAZOP es un conjunto de situaciones peligrosas y problemas operativos y una serie de medidas orientadas a la reducción del riesgo existente o a la mitigación de las consecuencias de los problemas operativos. Estas medidas se dan en forma de cambios físicos en las instalaciones, modificaciones de protocolos de operación o recomendaciones de estudios posteriores para evaluar con más detalles los problemas identificados o la conveniencia de las modificaciones propuestas.

### **2.3.3 Metodología empleada para el Análisis de riesgo por FMEA**

El *Análisis de Modalidades de Falla y sus Efectos* (FMEA, *Failure Modes and Effects Analysis*) consiste en un examen de componentes individuales para evaluar el efecto de su falla sobre el comportamiento del sistema. Este análisis es sistemático y requiere de un detallado conocimiento del proceso a evaluar. Es utilizado con bastante frecuencia en la industria de procesos. (Orozco, 2009)

En el contexto de este análisis, una modalidad de falla de un componente puede identificarse como:

- Una pérdida de función del componente (deja de actuar).
- Una función prematura (actúa prematuramente, antes de que se le requiera).
- Función fuera de tolerancia, o falla, o característica física no deseada.

En el FMEA todos los modos conocidos de falla se consideran uno a uno, y las consecuencias de cada falla son evaluadas y anotadas.

Se lleva a cabo en equipo y requiere información detallada sobre el sistema a evaluar (ej.: diagramas eléctricos, procedimientos de operación, diagramas de lógica instrumental, información sobre los sistemas de control, diagramas de suministros). Dicha información debe ser estudiada a fondo, de modo que cada uno de los participantes tenga una clara visión de la naturaleza de las operaciones para cada componente, de las características del diseño y sus interacciones con el sistema del cual forma parte.

El análisis comienza con la definición del sistema y sus características. Ello implica definir claramente los límites del sistema a abordar:

- Si el estudio se lleva a cabo a nivel de toda una planta, el análisis de modalidades de falla y sus efectos debe enfocarse sobre los sistemas individuales (ej.: sistema de alimentación, sistema de separación, sistema de tratamiento de efluentes, etc.).

- Si el estudio se realiza a nivel de sistema o subsistema, el análisis de modalidades de falla se enfoca sobre los equipos individuales (ej.: bomba de alimentación, sensor de temperatura, alarma, válvula de control del circuito de refrigeración, etc.).

El paso siguiente consiste en identificar todos los modos de falla relevantes y los efectos que producen.

Cada uno de estos modos de falla tiene consecuencias diferentes. Más aún, se debe investigar los sistemas de detección de fallos que existen y evaluar su relevancia para cada caso. Una extensión de este método considera la utilización de un índice de gravedad, que permita clasificar los diferentes escenarios, de acuerdo a la seriedad de sus consecuencias. En dicho caso, se utiliza un índice de gravedad entre 1 y 4:

### **Índice de gravedad**

1. Sin efectos adversos.
2. Efectos menores que no requieren detención de la operación.
3. Efectos importantes que requieren detención normal.
4. Peligro inmediato para el personal e instalaciones, parada de emergencia.

Con la información obtenida es posible proponer medidas correctivas en el diseño, para aquellos casos en que el modo de falla da origen a efectos importantes. En los casos de fallas graves se debe asegurar un sistema de detección directo de éstas.

#### ***2.4 Utilización del software Statgraphics como complemento auxiliar.***

Par apoyar el análisis de los métodos expuestos anteriormente, se desarrollaron bancos de datos de los parámetros del proceso que se miden con más frecuencia en la industria, para luego ser analizados en el software computacional Statgraphics. La toma de datos se realizó indistintamente en cada equipo, por un tiempo determinado para que los mismos fueran representativos. En el caso de los extractores se tomaron las muestras cada ocho horas en veinte días continuos. En el resto de los equipos se tomaron las muestras cada seis horas en veinte días. Estos datos se encuentran plasmados en el **anexo # 3**.

El software Statgraphics es utilizado con el objetivo de realizar varias pruebas de carácter estadístico, para verificar el comportamiento de los parámetros del proceso. Se realizaron las cartas de control dando a conocer si el proceso se encuentra bajo control o no, así como verificar el funcionamiento adecuado de los equipos del proceso.

### **Capítulo 3. Análisis de los Resultados.**

En el presente trabajo se aplicaron tres técnicas de análisis de riesgos: caracterización de las sustancias involucradas en el proceso, el Análisis de Peligro y Operabilidad (*HAZOP*) y el Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos, así como el uso del software Statgraphics para el análisis del comportamiento de los parámetros medidos en el proceso.

#### ***3.1 Análisis del comportamiento de los principales parámetros de operación del proceso.***

En este acápite se desarrolla el análisis de los parámetros más frecuentes medidos en el proceso, con el objetivo de observar cómo se desempeña el funcionamiento de cada uno de los equipos principales.

#### **Extractores.**

En los extractores se tomaron para ser analizados veinte muestras de valores de eficiencia, cada uno con tres replicas. El cálculo de la eficiencia consiste en hacer una selección de varias frutas que pertenezcan a un mismo frente de cosechas para extraerle el jugo en exprimidores mecánicos (a este valor se le denomina teórico), luego se realiza la misma operación en los extractores (a este valor se le denomina real) y con ambos se calcular la eficiencia. Se realiza la carta de control a este parámetro con el objetivo de poder observar cómo se comporta el funcionamiento de los extractores.

➤ **Eficiencia de los Extractores.**

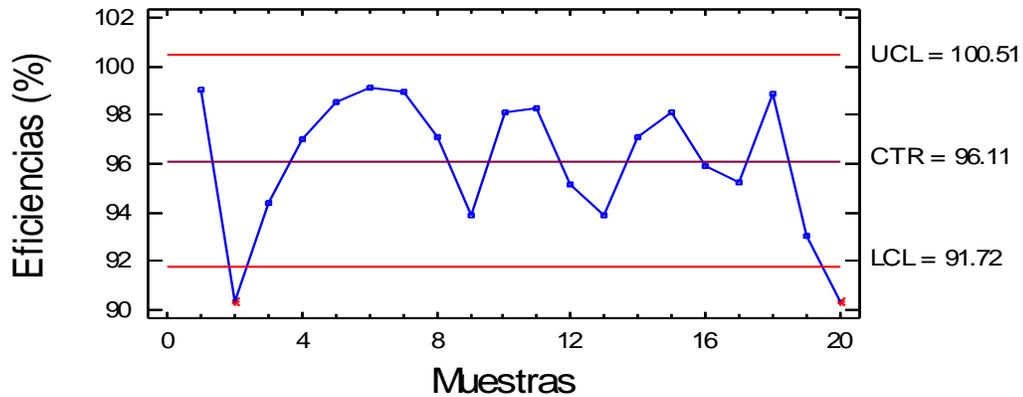


Figura 3.1 Carta de control para la eficiencia de los extractores.

Al analizar la información que brinda figura 3.1 se puede apreciar que está fuera de control, encontrándose varias muestras (2 y 20) con resultados de eficiencia en la zona del límite inferior. Esto demuestra que no se realizó la mejor extracción del jugo presente en la fruta, dando a conocer el mal funcionamiento del equipo de extracción. Como complemento al resultado de la carta tenemos que la eficiencia normada para considerar que la extracción es buena debe ser igual o mayor al 97%, teniendo esto como otra vía que nos afirma el funcionamiento inadecuado del equipo en cuestión. Este mal funcionamiento de los extractores puede ser producto de un erróneo ajuste de la mesa calibradora, provocando que la misma envíe frutas de calibres incorrectos a extractores que deben recibir frutas de mayor o menor calibre o por la muy elevada colocación de las copas, impidiendo que se realice la presión necesaria a las frutas para extraer la mayor cantidad de jugo posible. Estos fallos representan pérdidas de jugo para su posterior evaporación, lo cual trae consigo pérdidas económicas para la industria. Para solucionar este problema se aconseja la revisión de la posición de los rodillos de la mesa calibradora, para que se encuentren

a la altura adecuada, así como el acople correcto de las copas para garantizar una buena extracción del jugo.

### **Tamizadores.**

Aquí se analizaron dos parámetros: la presión de ajuste de los tamizadores, que no es más que la presión que fija el operador para lograr que se recolecte la mayor cantidad de jugo posible, siempre evitando que se afecte el producto con el paso de pulpa no deseada por sobrepresión. Para controlar que no suceda esto entra a jugar el otro parámetro analizado: la fibra rápida. La fibra rápida es un parámetro o prueba que se desarrolla con la pulpa a la salida del tamizador, con el objetivo de verificar si el mismo está trabajando en condiciones adecuadas (presión de ajuste correcta). La prueba consiste en tomar una muestra de la pulpa a la salida del equipo, para luego ser filtrada en un equipo por medio de velocidad rotacional, y así extraer el jugo que le pueda haber quedado. El jugo extraído es medido en una probeta, para luego ser llevado a una escala teniendo en cuenta la cantidad de jugo, y así se conoce si el tamizador se encuentra trabajando bien o no.

#### Escala

< 130 ml: Mucha presión en el tamizador.

130-150 ml: Tamizador apretado.

151-180 ml: Tamizador con moderado ajuste.

181-210 ml: Tamizador suelto.

210 ml: Tamizador muy suelto.

Como se puede observar la fibra rápida es un análisis utilizado para poder regular la presión de trabajo de los tamizadores, por lo que los dos guardan una estrecha relación.

Para el análisis de los mismos se desarrollaron bancos de datos con veinte muestras y cuatro replicas cada uno.

➤ **Presión de ajuste en los tamizadores.**

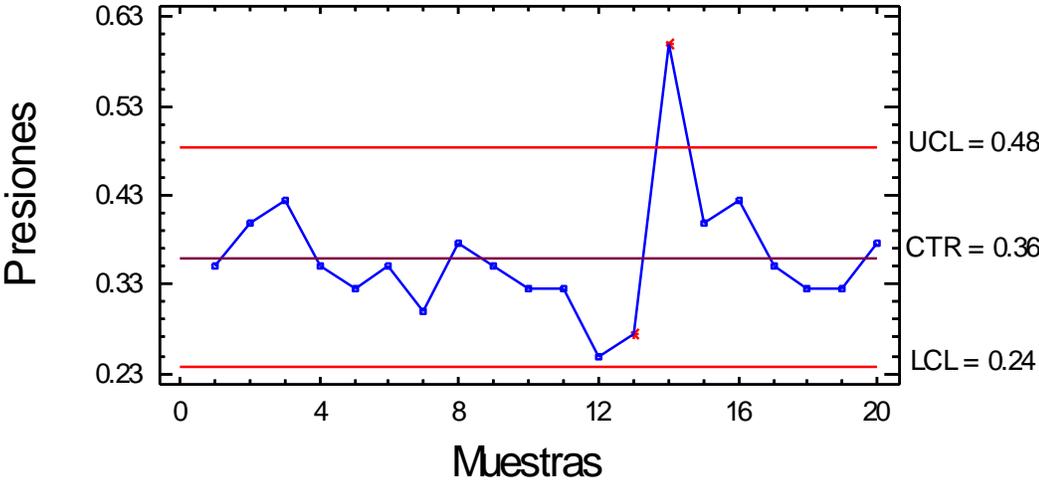


Figura 3.2 Carta de control para la presión de ajuste de los tamizadores.

Al analizar la carta (figura 3.2) se puede plantear que la misma se encuentra fuera de control presentando anomalías, principalmente en el día 14 donde la presión se encontraba muy elevada (0.6 Pa), perjudicando esto al producto, ya que provoca un incremento de pulpa no deseada en el jugo, y en el peor de los casos que ocurra una perforación en la malla o filtro por sobrepresión. El día 12 y 13 se presentan también anomalías pero esta vez con presiones bajas (0.2 Pa), provocando esto que

se produzcan perdidas de jugos en los desechos sólidos y de esta forma afecta la eficiencia del proceso, ya que ocurren pérdidas significativas de jugo.

➤ **Fibra Rápida.**

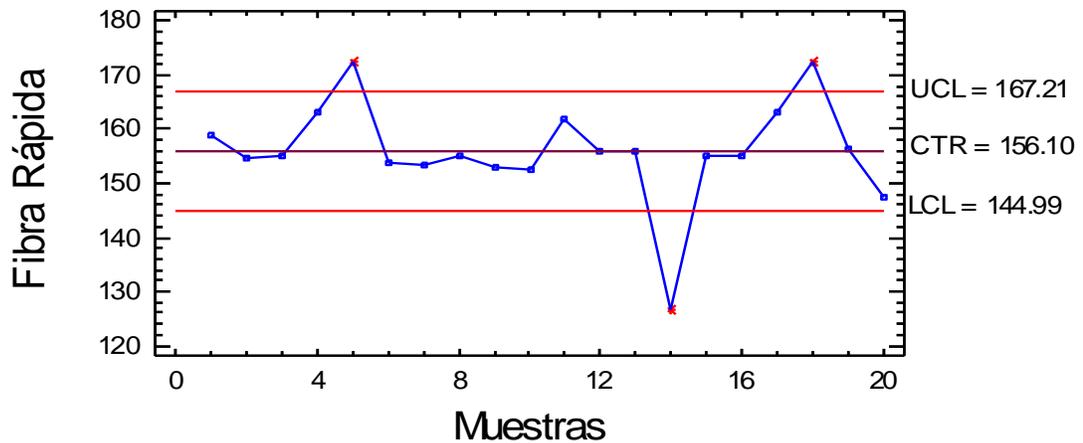


Figura 3.3 Carta de control para el análisis de Fibra Rápida.

La carta demuestra que el parámetro se encuentra fuera de control, dando a conocer que en el día 14 la fibra rápida dio un valor inferior a los 130 ml, demostrando que el tamizador se encontraba muy apretado y el día 5 y 18 se encontraba la fibra rápida muy elevada, por lo que se afirma que se encontraba el tamizador suelto. Al comparar los resultados de la presión y la fibra rápida se observa que al menos en un día (14) los problemas coinciden, dando a demostrar que uno depende del otro. Estos casos demuestran que la presión de ajuste en el tamizador no es la adecuada.

Para evitar que ocurran estos conflictos, sería recomendable realizar la prueba de Fibra Rápida con mayor frecuencia para que los operadores puedan ajustar el tamizador con la presión que más beneficios aporte al proceso, y así evitar la pérdida

de jugo o la afectación del equipo por una sobrepresión, que en el peor de los casos puede provocar la perforación de la malla, y esto llevaría consigo pérdidas económicas para la industria.

### Evaporadores

En este equipo se tuvieron en cuenta tres parámetros a analizar: la temperatura de enfriamiento a la salida del evaporador, la temperatura de pasteurización y los sólidos solubles o concentración presente en el jugo a la salida del evaporador. Para cada uno de estos parámetros se desarrollaron bancos de datos con veinte muestras y cuatro replicas cada uno.

➤ **Temperatura de Enfriamiento.**

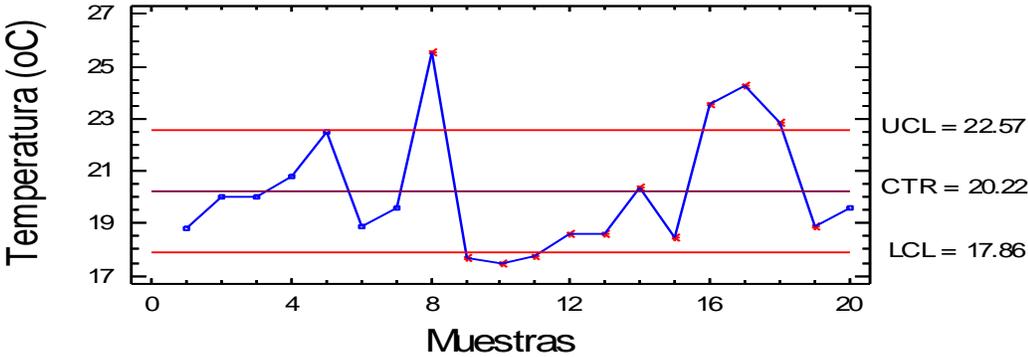


Figura 3.4 Carta de control para la temperatura de enfriamiento en el evaporador.

Al analizar la figura 3.4 se puede observar que el parámetro se encuentra fuera de control, demostrando la variabilidad de temperatura presentes a la salida del evaporador, dándole mayor peso a los que se encuentran en la zona superior de la línea (UCL=22.57), teniendo en cuenta que este parámetro se debe encontrar entre 15-20 °C, ya que el producto no se debe embazar en caliente. Por lo tanto se

demuestra que ocurrieron anomalías en el sistema de refrigeración, y quizás también en el suministro de agua de torres, que aunque su principal objetivo no es enfriar del todo, ayuda a disminuir la temperatura. Esto trae como consecuencia que a al envasar el producto a temperaturas elevadas, se pueden desarrollar microorganismos que afecten la calidad del producto, provocando en ocasiones la fermentación del mismo y la explosión de las bolsas que son envasadas en bidones. Estos provocarían pérdidas económicas para la industria y disconformidad de los clientes.

Para evitar tales daños se propone que se verifique y se asegure el buen funcionamiento del sistema de refrigeración, así como el suministro de amoniaco que es la sustancia que se utiliza como refrigerante, para lograr que el producto salga con la temperatura adecuada y pueda envasarse sin ningún percance.

➤ **Temperatura de Pasteurización.**

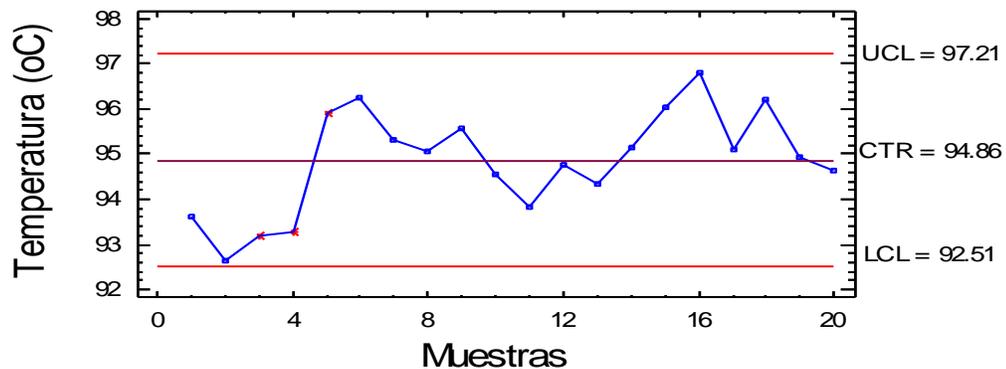


Figura 3.5 Carta de control para la temperatura de pasteurización en el evaporador.

Analizando la carta de control se puede observar que el parámetro se encuentra controlado, esto demuestra el buen funcionamiento del evaporador, logrando alcanzar la pasteurización del producto para garantizar la conservación del mismo.

➤ **Sólidos Solubles.**

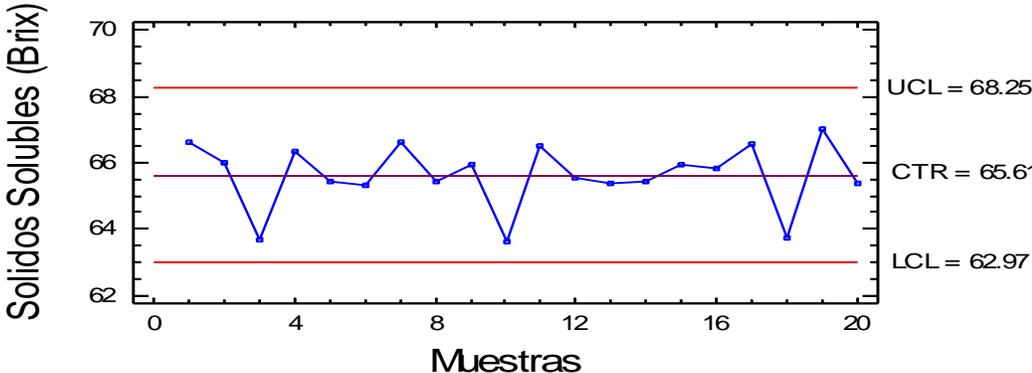


Figura 3.6 Carta de control para los sólidos solubles a la salida del evaporador.

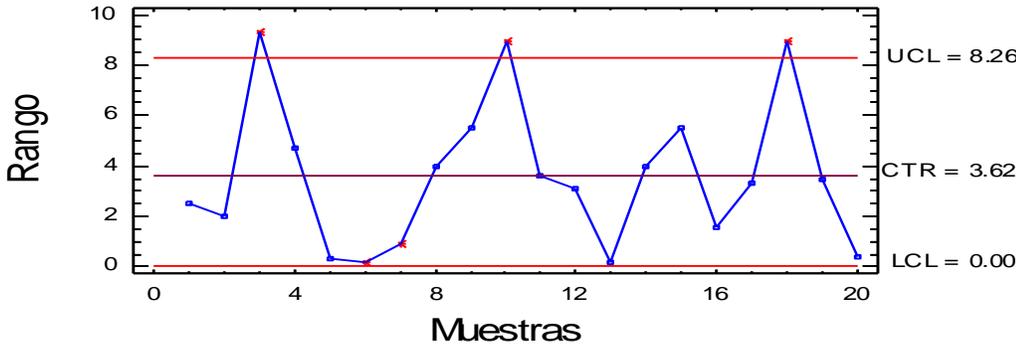


Figura 3.7 Carta de Rango para los sólidos solubles a la salida del evaporador.

Al analizar la figura 3.6 se observa que el parámetro se encuentra controlado, no demostrándolo así la figura 3.7, la cual demuestra que hay varias muestras que se encuentran fuera de control, principalmente los que se encuentran en el límite

superior, dando a conocer que hay muestras que se encuentran con una concentración muy inferior a la media. Esto trae como consecuencia la inconformidad de los clientes al no presentar el producto la calidad requerida.

Para solucionar este problema se debe suministrar el vapor necesario para alcanzar la concentración adecuada y así de esta manera lograr la conformidad del cliente con el producto. Aunque es bueno aclarar que para la solución de este problema se utiliza el tanque estandarización, donde se homogeniza el lote para llevar el producto a la concentración deseada.

### Generadores de Vapor.

En este equipo se analizaron las presiones de vapor a la salida de la caldera, con el objetivo de verificar si la misma era suficiente para garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos que trabajan con él, en este caso los evaporadores. Se desarrollo un banco de datos de veinte muestras con cuatro replicas.

#### ➤ Presión de Vapor.

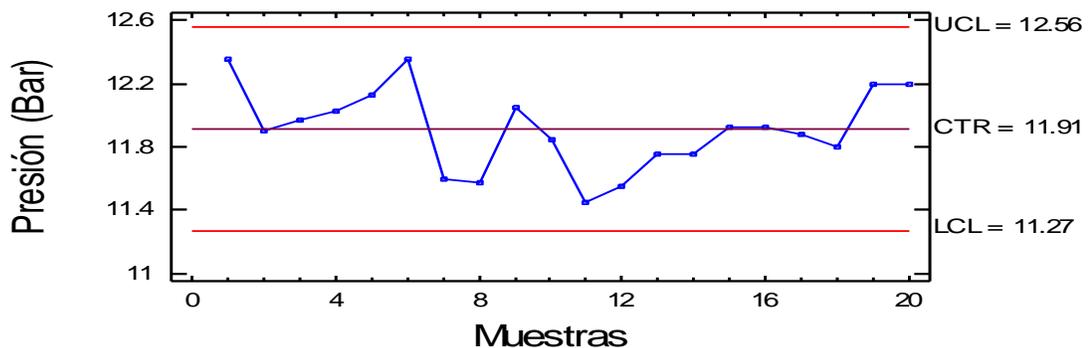


Figura 3.8 Carta de control para la presión de vapor en los generadores de vapor.

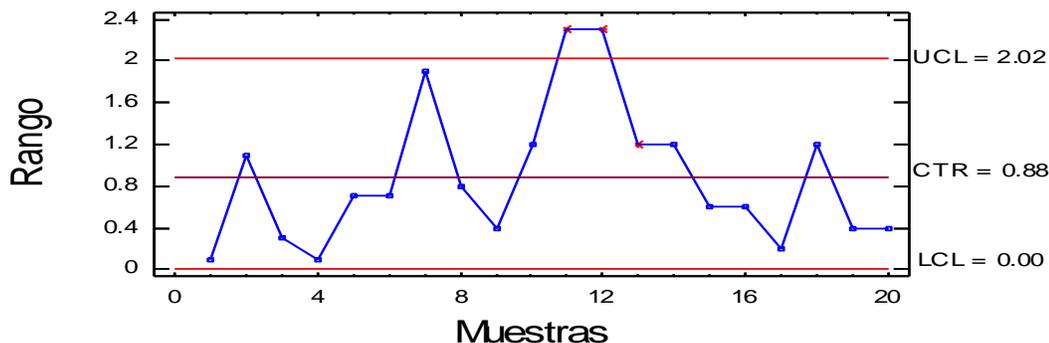


Figura 3.9 Carta de rango para la presión de vapor en los generadores de vapor.

En el análisis de la figura 3.8 parece indicar que el parámetro se encuentra bajo control, pero la figura 3.9 demuestra que sí ocurrieron problemas, sobre todo en las muestras 11 y 12, donde aparecen valores de presión de vapor muy bajos con respecto a la media. Esta puede ser una de las causas por las que no se llegó en ocasiones a la concentración deseada en los evaporadores, ya que no se suministró el vapor con la presión de trabajo que exige el equipo para su buen funcionamiento. Esto provoca que el producto a tratar en el evaporador no salga con la calidad requerida y por ende se expresa la inconformidad del cliente que lo consume. Para evitar que ocurra esto es necesario verificar y garantizar que las calderas garanticen la presión de vapor necesaria a utilizar en el evaporador.

A modo de resumen de este tópico se puede plantear que gracias a la utilización del software Statgraphics se hizo posible el análisis y la detección de los problemas que se presentaron en cada uno de los equipos presentes en la línea de jugo concentrado congelado, demostrado que muchos de estos fallos conllevan a una disminución de la producción, provocando pérdidas económicas para la industria. En cada uno de los análisis se plantea como minimizar estos problemas y así garantizar una mayor calidad y cantidad del producto de interés, para lograr que se cumplan los

planes de producción previstas anualmente y garantizar una mayor eficiencia del proceso productivo.

### **3.2 Análisis de la caracterización de las sustancias.**

En la línea de producción de jugo concentrado congelado intervienen tres sustancias de características dañinas para el personal de trabajo como: el Amoniaco que es una sustancia que se utiliza como agente refrigerante en el ciclo de refrigeración, encontrándose presente en el evaporador para garantizar la temperatura de salida del producto entre 15 y 20 °C, en el tanque enchaquetado de estandarización para mantener las bajas temperaturas en el producto para su posterior envase y en el frigorífico donde se almacena para su posterior exportación. Las otras dos sustancias son la Sosa Caustica (Hidróxido de Sodio) y el ASEP 150 (desinfectante líquido con base de ácido peracético y peróxido de hidrógeno) que son utilizadas como desinfectantes en el ciclo de limpieza de la planta.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen el riesgo estimado para la salud teniendo en cuenta la clasificación toxicológica que presentan dichas sustancias.

Tabla 3.1 Clasificación toxicológica de la sustancia analizada.

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. Aguada	Irritación	Sensibilización	Tox. dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	Tox. para reproducción
Amoniaco	X	O,P,R	X				X	
ASEP 150	X	O,P	X	X			X	
Hidróxido de Sodio	X	O,P	X	X			X	

Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P) o vía respiratoria (R).

La caracterización de las sustancias que intervienen en el proceso, permitió definir el grado de peligrosidad que presentan para el personal de trabajo. A continuación se desarrolla a modo de tabla un resumen con el nivel de peligrosidad de las sustancias, así como sus frases R y S (**ver anexo 4**) más utilizadas en el etiquetado de peligro. Esto se obtuvo basado en las indicaciones que aparecen en los lineamientos generales para determinar las categorías de peligros toxicológicos, según la directiva EC 93/21/EEC de las Naciones Unidas, que aparecen en PNUMA/IPCS, (1999) y es un ejemplo sintetizado de la caracterización general que se hizo de cada una de las sustancias involucradas en el proceso, lo cual aparece en el **anexo 5**.

Tabla 3.2 Nivel de peligro asociado a las sustancias involucradas en el proceso.

Sustancias	Etiquetado de Peligro (Frases R y S)	Nivel de Peligro
Amoniaco	R20/R21/R22/R23/R24/R25/R26/R27/R28/R30/R34/ R35/R36/R37/R38/R41/R54/R55/R59.  S1/S2/S7/S20/S23/S24/S25/S26/S28.	Alto
ASEP 150	R21/R22/R23/R24/R25/R26/R27/R28/R30/R34/R35/ R36/R37/R38/R41/R54/R55/R59.  S2/S13/S18/S20/S22/S24/S25/S26/S28/S37/S39.	Alto
Hidróxido de Sodio	R21/R22/R23/R24/R25/R26/R27/R28/R30/R34/R35/ R36/R37/R38/R41/R54/R55/R59.  S2/S13/S18/S20/S22/S24/S25/S26/S28/S37/S39.	Alto

## **Niveles de Peligro**

### **Peligro especial**

Las sustancias incluidas en esta categoría, entre ellas las carcinógenas, las mutágenas y los compuestos con efectos tóxicos en el sistema reproductivo, son consideradas como muy peligrosas y deben ser evaluadas individualmente.

### **Peligro alto**

Sustancias etiquetadas como “muy tóxicas”, “tóxicas”, “corrosivas” o sensibilizadoras de la piel.

### **Peligro medio**

Las sustancias consideradas de peligro medio y que ingresan por inhalación o ingestión son etiquetadas como “dañinas” y las de daño medio para la piel, como “dañinas” o “irritantes”.

### **Peligro bajo**

Son las sustancias no consideradas en ninguna de las otras categorías de peligro.

Teniendo en cuenta lo reflejado por la tabla se llega a la conclusión de que las sustancias involucradas en el proceso presentan un alto peligro para el personal de trabajo. Aunque las tres son peligrosas, el amoníaco es el que más daño puede causar por su difícil manera de controlar a la hora de producirse un escape. El mismo provoca irritaciones en los ojos, la piel y las vías respiratorias, siendo también una sustancia corrosiva para la piel y de alto nivel de toxicidad. Las otras dos sustancias presentan similares características, aunque son mucho más fáciles de controlar por el estado de agregación en que se encuentran, además de ser utilizadas en el proceso en una disolución con agua, disminuyéndole de esta forma la concentración. Para evitar que ocurran tales daños la empresa debe mantener la seguridad y el

control de las sustancias, así como garantizar y exigir al trabajador de utilizar los medios de seguridad a la hora de la manipulación de las sustancias desinfectantes y en caso de escape de amoniaco.

### **3.3 Análisis de resultados de la aplicación de la técnica de HAZOP.**

Para desarrollar el análisis de HAZOP se hizo necesaria la utilización del esquema que muestra el flujo de producción de la planta el cual se encuentra en el **anexo # 1**.

Con la utilización de esta técnica se logró detectar los posibles riesgos y consecuencias que pueden presentar los equipos principales de la línea de producción de jugo concentrado congelado, así como las medidas a tomar para resolverlos o prevenirlos. Para esto se desarrollaron tablas donde se utilizaron las palabras guías para detectar posibles desviaciones. Dichas tablas están plasmadas en el **anexo # 6** donde se encuentran también las medidas correctoras.

A continuación se expone un fragmento del HAZOP para uno de los equipos principales del proceso

Tabla 3.3 Fragmento de HAZOP para el sistema de generación de vapor.

<b>Sistema de generación de vapor (calderas):</b> Son generadores de vapor automáticos para la producción de vapor saturado.				
<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas a tomar</b>
No	Ausencia de gas licuado.	1. No se abasteció en tiempo.	- No enciende la llama.	-Chequear con frecuencia la existencia del gas.

	Ausencia de agua tratada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Válvula V-7 cerrada o atascada.</li> <li>2. La bomba B-4 no está funcionando.</li> <li>3. Tanque de agua tratada vacío.</li> </ol>	-Los tubos se quiebran, incluso provoca la explosión de la caldera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Parar de inmediato la caldera.</li> <li>-Cerrar el suministro de combustible.</li> <li>- Esperar a que se enfríe la caldera.</li> <li>-Verificar el motivo por la que no llega el agua tratada al hogar.</li> </ul>
Más	Más agua en la caldera.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallos en el control de nivel de agua.</li> <li>2. Fallos en la válvula V-7</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pueden ocurrir arrastres de agua, estos son peligrosos y pueden causar serios trastornos en la línea de vapor, turbinas y máquinas.</li> <li>- El agua puede llegar al sobrecalentador y se producirá una presión excesiva en los tubos, que fácilmente puede</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de los indicadores de nivel.</li> <li>- Abrir la válvula de desagüe de superficie.</li> <li>- Verificar el funcionamiento de la válvula.</li> </ul>

			causar una ruptura en ellos y causar un grave accidente.	
Menos	Menos flujo de agua de alimentación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Combustión intensa de la caldera.</li> <li>2. La válvula V-7 se encuentra prácticamente cerrada.</li> <li>3. El tanque de agua tratada esta sin suministros.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se producen distorsiones en los tubos y en las chapas de las calderas y con frecuencia la destrucción del enladrillado, produciéndose fuertes escapes de vapor y agua e inclusive puede estallar la caldera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se cerrará inmediatamente el abastecimiento de combustible.</li> <li>- Dejar enfriar la caldera, y después de fría subir el nivel de agua e investigar la causa.</li> <li>- Verificar que la válvula V-7 se encuentre bien abierta.</li> <li>- Verificar que el tanque de agua tratada no sé quede vacío.</li> </ul>
	Menos presión en la alimentación de agua.	1. Fallos en la bomba B-3.	- Menos flujo de agua de alimentación.	- Inmediatamente se debe poner a funcionar la bomba auxiliar, a menos que se haya perdido de vista el agua en el visor de vidrio. En tal caso, se debe actuar de acuerdo con las instrucciones para

				bajo nivel de agua.
	Menos entrada de oxígeno.	1. Fallo en el ventilador auxiliar.	-Combustión incompleta.	-Automatización del proceso.
Diferente de	Escape de vapor en la caldera.	1. Ruptura de tubos o fuga por los accesorios.	-Peligros de accidentes para los trabajadores y pérdidas en la eficiencia en las calderas.	<p>- Cerrar la salida de vapor de la caldera y los registros de entrada de aire.</p> <p>- Apagar los quemadores, dejar abierta la compuerta de tiro para que el vapor salga por la chimenea.</p> <p>- Gradualmente abrir las válvulas de seguridad para reducir la presión en la caldera, salvo en los casos de falla en los tubos por falta de agua.</p>

A modo de resumen se ofrece una tabla con los equipos donde se presentaron las desviaciones más significativas, sus causas y consecuencias.

Tabla 3.4 Resumen de los equipos con sus desviaciones más significativas.

<b>Equipos</b>	<b>Desviaciones</b>	<b>Causas Posibles</b>	<b>Consecuencias</b>
Extractores	Demasiada presión de aire.	La válvula reductora VR-1 no está funcionando.	Descontrol en la secuencia de trabajo de las copas, provocando vibraciones en el equipo y hasta rotura de las copas y cuchillas.
Tamizadores	Aumento de presión en el tamizador.	-No está funcionando la válvula reductora VR-2.  -Mal ajuste de la prensa por parte del operador.	-Prensa muy apretada, provocando que pase a través de la malla pulpilla no deseada.  -Perforación de la malla por sobrepresión.
Evaporadores	Ausencia de amoníaco.	-Válvula VA-1 cerrada en la línea de refrigerante.  -Fugas de amoníaco en las tuberías y accesorios.	-No se recupera el aroma, fase acuosa, o sea ningún subproducto aromático.  -Temperatura de salida del producto muy elevada.  -Peligro para los

			operadores por exposición a fugas de amoniaco.
Calderas	Menos flujo de agua de alimentación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Combustión intensa de la caldera.</li> <li>-La válvula V-7 se encuentra prácticamente cerrada.</li> <li>-El tanque de agua tratada esta sin suministros.</li> </ul>	Se producen deformaciones en los tubos y en las chapas de las calderas y con frecuencia la destrucción del enladrillado, produciéndose fuertes escapes de vapor y agua e inclusive puede estallar la caldera.
Sistema de Refrigeración	No hermeticidad en el sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Juntas en mal estado.</li> <li>- Fallo en válvulas de seguridad.</li> <li>- Aumento de presiones de trabajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Escape de amoníaco de gran envergadura.</li> <li>-Posible quemadura y otros efectos nocivos a los trabajadores.</li> </ul>
Llenadora	Problema en el peso neto del producto.	Fallo en la báscula y/o en su automatización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inconformidad de los clientes.</li> <li>-Derrame del producto.</li> </ul>

### 3.4 Análisis de resultados de aplicación de la técnica de FMEA.

Teniendo en cuenta que el Análisis de Peligro y Operabilidad (*HAZOP*) es un método cualitativo, se decide aplicar también el análisis de modalidades de fallas y sus efectos (*FMEA*) que aunque se encuentran en la misma clasificación, también semicuantifica por el índice de gravedad que utiliza. Dicho índice da una idea más clara del peligro que puede producir una situación determinada en el proceso.

Con la aplicación de este método se lograron identificar los posibles fallos que se pudieran presentar, así como sus efectos y las medidas correctoras que se propusieron. Dichos resultados se encuentran en el **anexo 7**.

A continuación se muestra un ejemplo completo del FMEA para un equipo del proceso.

Tabla 3.5 Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos (*FMEA*) en el Generador de Vapor GV-1.

Elementos	Descripción del Equipo	Modo de Fallo	Forma de detección del fallo	Efectos del Fallo	Medidas correctoras	Índice de gravedad
V-7	Control del agua tratada a la entrada del GV-1	Válvula cerrada o atascada.	Nivel del líquido.	-Los tubos presentan distorsiones.  - Puede provocar la explosión de la caldera.	-Apagar la caldera de inmediato y esperar a que se enfrié.  -Verificar que la	4

					válvula funcione bien.	
B-4	Bombeo del agua tratada a la entrada del GV-1	No funciona la bomba B-4	Nivel del líquido.	-Los tubos presentan distorsiones.  - Puede provocar la explosión de la caldera.	-Apagar la caldera de inmediato y esperar a que se enfríe.  -Verificar el buen trabajo de la bomba B-4, cambiarla de ser necesario.	4
GV-1	Generar energía en forma de vapor.	Nivel del agua muy elevado.	Nivel del líquido.	Provoca arrastre de líquido en el vapor.	Disminuir el flujo de agua.	2
		Nivel del agua muy bajo.	Nivel del líquido.	-Se dañan los tubos que no se encuentran sumergidos en el agua.	-Parar el suministro de combustible al quemador.	4

				- Puede provocar la explosión de la caldera.	-Esperar a que se enfríen los tubos.	
Leyenda: V-7: Válvula 7 B-4: Bomba 4 GV-1 : Generador de Vapor 1						

Como se puede observar la mayoría de las fallas que se pueden efectuar en las calderas tienen un índice de gravedad de nivel 4. Estos resultados dan a conocer el alto peligro que presentan los generadores de vapor al ocurrir una de las fallas mencionadas en la tabla 3.5, provocando el deterioro del equipo y afectando la integración física de los operadores, lo que da una medida de los riesgos que se generan si no se garantiza la operación adecuada del equipo en cuestión.

A continuación se presenta una tabla donde se encuentran los equipos con sus principales modos de fallos y los efectos que estos provocan, así como las medidas correctoras para solucionarlos y el índice de gravedad que se le asignó.

Tabla 3.6 Resumen de los principales fallos- efectos detectados y las medidas correctoras.

<b>Equipo</b>	<b>Modo de Fallos</b>	<b>Efectos del Fallo</b>	<b>Medidas Correctoras</b>	<b>Índice de Gravedad</b>
Extractor E-1	La válvula VR-1 no está realizando su	Rotura de las copas y cuchillas, que	-Cerrar la válvula V-2, luego detener	4

	función	pueden ser expulsadas por el equipo y afectar al personal cercano al área.	el compresor C-1.  -Revisión de la válvula VR-1, cambiarla de ser necesario.	
Tamizador Tam-1	La válvula VR-2 no está realizando su función	Perforación de la malla o filtro	Verificar el buen funcionamiento de VR-2, cambiar de ser necesario.	3
Evaporador ET-1	Válvula V-6 cerrada o atascada	No se les extrae el agua al jugo para lograr la concentración deseada	Verificar que la válvula V-6 se encuentre en la posición correcta.	3
Generador de Vapor GV-1	Válvula V-7 cerrada o atascada.	-Los tubos presentan distorsiones.  -Puede provocar la explosión de la caldera.	-Apagar la caldera de inmediato y esperar a que se enfríe.  -Verificar que la válvula funcione bien.	4

Sistema de Refrigeración SR-1	Escape de amoniaco por las juntas de la válvula VA-1.	Perjudica la salud del personal cercano al escape.	Detectar el salidero y corregirlo.	4
-------------------------------	-------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	------------------------------------	---

A modo de resumen se puede plantear que los equipos que se presentaron con mayor índice de gravedad (4) fueron los generadores de vapor y el sistema de refrigeración, esto implica que en los mismos se encuentra el mayor nivel de peligrosidad, ya que estos provocarían accidentes que pueden atentar contra la vida de los trabajadores, independientemente de que conlleven a roturas del equipo, obligando a la industria a tener que desarrollar una inversión para repararlos o remplazarlos en caso de que no tengan solución. En el sistema de refrigeración se encuentra presente el amoniaco como sustancia refrigerante, siendo el causante del alto índice de gravedad del equipo por las propiedades dañinas que presenta para el ser humano, y en el caso de los generadores de vapor se encuentra la alta probabilidad de explosión si no son operados con el conocimiento y el cuidado requerido. También se puede agregar que el evaporador es el equipo que presenta la mayor cantidad de probabilidades de fallos, ya que contiene varias entradas de corrientes y por ende la mayor cantidad de accesorios o equipos secundarios a emplear (válvulas y bombas), siendo demostrado esto con la sumatoria de todos los índices de gravedad señalados en el mismo, con un total de 18 puntos, superando así a todos los demás equipos. Este análisis da una medida de la importancia que tiene en el proceso dicho equipo, ya que al ocurrir cualquiera de los fallos detectados, darían como resultado una mala calidad del producto de interés.

Tabla 3.7 Soluciones propuestas a raíz de los resultados obtenidos en la técnica HAZOP y FMEA.

<b>Acciones propuestas</b>	<b>Etapas del proceso a la que está dirigida</b>	<b>Solución que aportaría</b>	<b>Observaciones (si son necesarias)</b>
Acoplar las copas de los extractores	Extracción	Mejora el rendimiento del equipo al extraer la mayor cantidad de jugo posible de las frutas	
Verificar con frecuencia las presiones de ajuste en el tamizador	Tamizado	Se logra recuperar la mayor cantidad de jugo posible, evitando que se pierda jugo en los desechos sólidos.	Para lograr la presión de ajuste adecuada, se debe tener en cuenta el análisis de la Fibra Rápida.
Mantener el suministro de amoníaco al evaporador.	Evaporación	Se recupera la esencia del jugo y se logra la temperatura deseada (15-20°C) del jugo a la salida del evaporador.	Es necesario realizar cada cierto tiempo un mantenimiento al sistema de refrigeración para que trabaje eficientemente.
Mantener el suministro de vapor	Evaporación	Se logra la concentración	Es necesario que los conductos por

necesario.		deseada en el producto final.	donde circula el vapor, se encuentren bien aislados para evitar pérdidas de energía en su trayectoria.
Mantener el suministro de agua de torre al evaporador	Evaporación	Ayuda a disminuir la temperatura del jugo, además de mantener el vacío dentro del equipo.	
Mantener el suministro de amoníaco al tanque de estandarización	Homogenización	Se logra la seguridad del producto hasta su posterior etapa, evitando que se desarrollen microorganismos que afecten la calidad del producto.	
Realizar un cambio de refrigerante en el tanque de estandarización ( cambiar amoníaco por glicol)	Homogenización	Se evitan riegos de mayores envergaduras al ocurrir un escape en el tanque de estandarización.	

Realizar el mantenimiento de los generadores de vapor para evitar incrustaciones.	Producción de energía en forma de vapor	Mejora el rendimiento del equipo.	
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------------------	--

### 3.5 Conclusiones Parciales.

1. Se detectó mediante al análisis de la caracterización de las sustancias que el amoniaco, el ASEP 150 y el Hidróxido de Sodio presentan un nivel de peligro alto, por sus características toxicas, irritante, sensibilizadoras y corrosivas.
2. Se detectó en el análisis de los parámetros operacionales que: la presión de ajuste del tamizador y la temperatura de salida del jugo en el evaporador TASTE son los que se encontraron con mayor descontrol.
3. La aplicación de la técnica de HAZOP permitió detectar que los equipos con mayores niveles de riesgos son: los generadores de vapor, los extractores y los evaporadores TASTE.

## Conclusiones

- La evaluación de riesgos en la U.E.B "Héroes de Girón" utilizando la técnica de *HAZOP* y *FMEA*, permitió detectar los posibles riesgos que se pueden presentar en la línea de producción de jugo concentrado congelado, lo que corrobora la hipótesis planteada.
- De acuerdo a la caracterización de las sustancias que intervienen en el proceso se determinó que el amoníaco es la sustancia que presenta mayor riesgo para el personal de trabajo, por sus características de alto nivel de toxicidad, irritación y corrosión, así como por su difícil control al producirse un escape.
- La aplicación de dichas técnicas permitió detectar que los equipos con mayores niveles de riesgos son: los generadores de vapor, los extractores y los evaporadores TASTE.
- El desarrollo de la técnica de *HAZOP* permitió dotar a la industria de una herramienta que pueda ser utilizada como manual de operación, para lograr la prevención y mitigación de los posibles riesgos que fueron detectados, así como las medidas a tomar en caso de su desenlace.

## **Recomendaciones**

- Completar los estudios de riesgos para el resto de las líneas de producción presentes en la industria.
- Presentar al consejo de dirección y los operadores de la U.E.B Héroes de Girón los resultados obtenidos en este trabajo y las acciones propuestas para que se utilicen con el fin de minimizar riesgos en la industria.

## Bibliografía

1. Aboud Almansoor, A. (2008). Planning of Petrochemical Industry under Environmental Risk and Safety Considerations. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Chemical Engineering. Canadá.
2. Acosta, G. (2008). Evaluación de riesgos en la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
3. Badia, M. D. (2004). Manual de Documentos de la Planta de Procesamiento de Crudo. Reglamentos Tecnológicos. MIMBAS, La Habana.
4. Bosch, C.J.H. van den, Weterings, R. (2006). *Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases). Yellow Book. The Hague.*
5. Carol, Sergio. (2001). Tesis de Doctorado. Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los accidentes industriales. Departamento de ingeniería química, Escuela técnica superior de ingenieros industriales de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
6. Casal, et al. (2001), Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Alfa omega S.A., Bogotá (Colombia), ISBN: 958-682-287-7.
7. Castro Delgado R., Arcos González P. (1998) El riesgo de desastre químico como cuestión de salud pública. Publicado por Revista Española de salud Pública; 72:481- 500. UIED. Universidad de Oviedo
8. CCPS. (1992). *Hazard Evaluation Procedures. American Institute of Chemical Engineers.* New York, USA.

9. Ceballos, C. L. (2003). Preparación para la defensa. Sustancias Tóxicas. Su protección. Félix Varela, La Habana.
10. Correa, A.D. (2004). Manual de Seguridad y Salud Ocupacional. Transportación segura de sustancias peligrosas., MINBAS, La Habana
11. (D.G.P.C. 1997a) Dirección General de Protección Civil. Métodos para la identificación de riesgos químicos (V)
12. (D.G.P.C. 1997b) Dirección General de Protección Civil (1997) Métodos para la identificación de riesgos químicos (VI) pág. 90-96
13. (D.G.P.C. 1997c) Dirección General de Protección Civil (1997) Métodos para la identificación de riesgos químicos (VII)
14. Dirección General de Protección Civil. -a, (1994) Guía técnica. Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general. ISBN 84-8150-042-9. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid
15. Dirección General de Protección Civil. -b, (1994). Guía técnica. Métodos cualitativos para el análisis de riesgos. ISBN 84-8150-041-0. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid
16. Dirección General de Protección Civil. -c, (1994). Guía técnica. Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos. ISBN 84-8150-043-7. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid
17. Duarte, G. 2009. SIAFASRL. SIAFASRL. Disponible en: <http://natlaw.com/interam/ar/eg/rg/rgareg11.htm>.
18. Duffus, J.H, Worth, G.J. (1996). *Fundamental Toxicology for Chemists*. Royal Society of Chemistry, Londres.

19. Faustman, E. & Omenn, G. (1996). *'Risk Assessment', in Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*, McGraw-Hill, New York, pp. 75-88.  
Faustman, E. & Omenn, G. 1996, Risk Assessment, McGraw- Hill, New York.
20. Gálvez, W. (2001). Desastres y situaciones de emergencias. UNMSM, Lima Perú. *Disponible en: [www.reeme.Arizona.edu](http://www.reeme.Arizona.edu)*
21. Hernández, L. (2009). Evaluación de los riesgos en el sistema de Calentamiento de Aire Regenerativo de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas. *Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba*
22. IUPAC. (1993) *Glossary for chemists of terms used in toxicology.*
23. Klaassen, C.D. (1996). *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons.*
24. Knowlton R.E. (1981). *An introduction to Hazard and Operability Studies. The Guide Word Approach. Chemetics International, Ltd.*
25. Linares, O. G. (2001). Manual de Sistema de Prevención de Riesgos Laborales. Gestión y Prevención de Riesgos Laborales en una Industria Horchatera. IX Seminario de Formación.
26. López, I. (2010). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes. Tesis en opción al título Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba
27. Maskrey, A. (1994). Comunidad y Desastres en América Latina: Estrategias de Intervención. Capítulo N° 1. En “Viviendo en Riesgo: comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina”. Tercer Mundo Editores. Colombia.

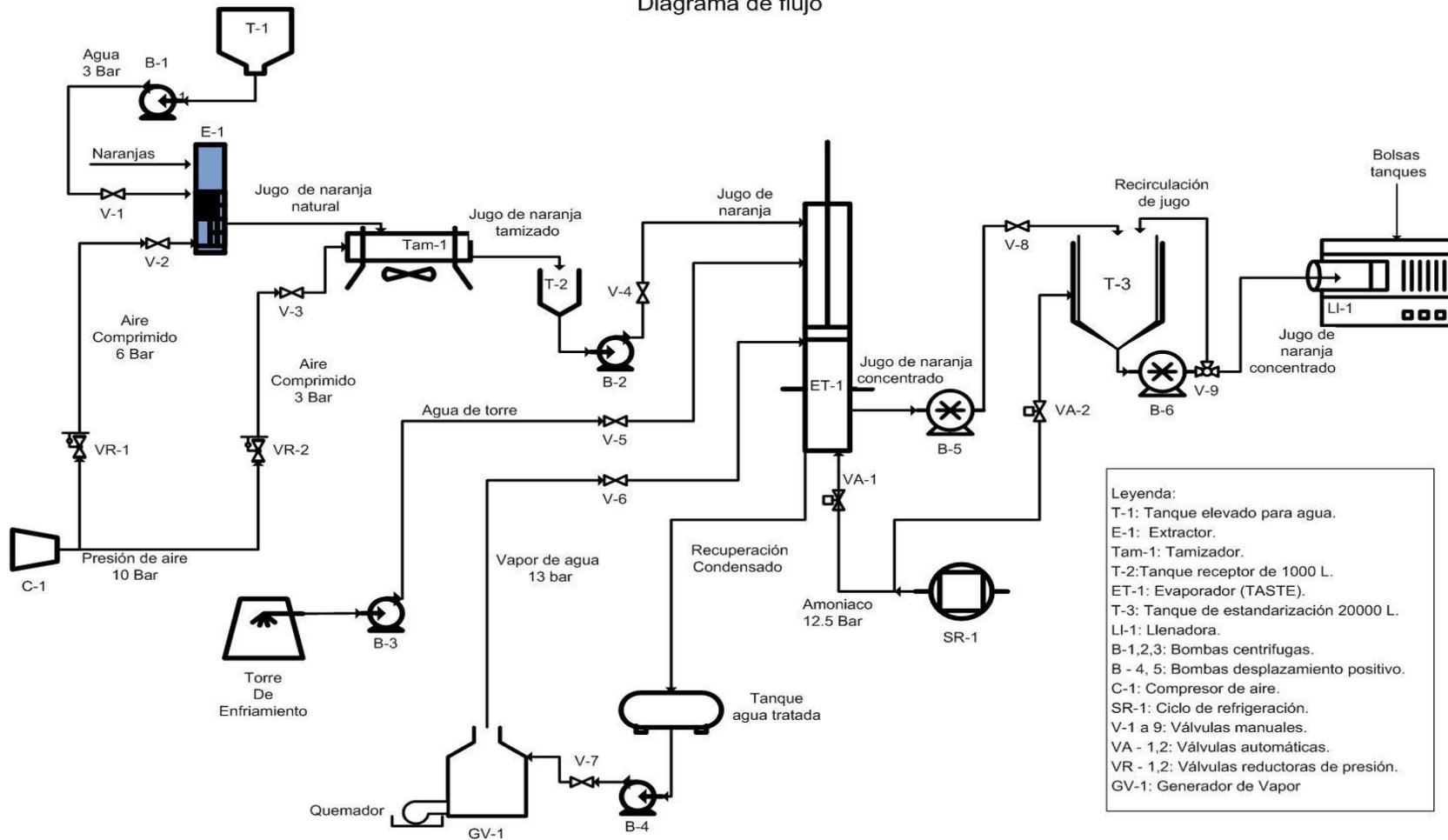
28. Muñoz, B. (1992). La Metodología de la Seguridad Industrial, Ministerio de Ciencia y Tecnología.
29. Morales, Y. C. (2004). Manual de procedimientos de Seguridad Industrial. Protección a las instalaciones., La Habana.
30. Nolan, Dennis P. (2011). *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities. Second edition. Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK*
31. Orozco, J. L. (2007) .Guía para proyecto de riesgo y seguridad industrial. [On line]. Disponible en <http://www/fiqm.umcc.cu>.
32. Orozco J. L. (2009) Introducción al Análisis de Riesgos. Departamento de Química e Ingeniería Química. UMCC. Cuba
33. Piccinini, N. (1985). “*Afidabilitá e sicurez zanella indussttia chimica*”. IEC. Barcelona.
34. Piqué, T. & Cejalvo, A. (1994). Análisis Probabilístico de Riesgos: metodología de árbol de fallos y errores, Notas Técnicas de Prevención, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Barcelona.
35. PNUMA/IPCS. (1999). Evaluación de Riesgos Químicos. Programa Nacional de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
36. Ramos, A. (1987). Procedimiento para el Análisis de Riesgos de Operación. Método HAZOP. Comisión Autónoma de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Industrias Químicas y Afines, Madrid.

37. Rodríguez, D. G. (2004). Manual de procedimientos de Seguridad Industrial. Protección a las instalaciones. Instrucción de seguridad para los riesgos eléctricos. MIMBAS, La Habana.
38. Santamaría J.M., Braña P.A. "Análisis y reducción de riesgos en la industria química". ISBN 84-7100-969-2. Editorial MAPFRE. Madrid, 1994
39. Sherritt Power Energas. S.A (2007). Análisis de riesgos de incendios y explosión. Planta de gas Varadero.
40. Soldano, Á. (2008). Conceptos de riesgos. Provincia Córdoba, Argentina. Disponible en:  
<http://www.rimd.org/advf/documentos/4921a2bfbe57f2.37678682.pdf>
41. (SPC) Servicio de Protección Civil, (2002) Procedimiento de evaluación de riesgos tecnológicos en el entorno. Barcelona-España
42. Vílchez, J. e. a. (1995). Lessons Learnt from emergencias alter accidentes in Portugal and Spain involving dangerous chemical substances. Office for Official Publications of the European Community.
43. Wells, Geoff. (2003). *Majors Hazards and their management*. Gulf Publishing Company. Houston, Texas.

## Anexos

### Anexo1: Diagrama de flujo del proceso.

Diagrama de flujo



## Anexo 2: Palabras guías que se utilizan en la aplicación de la técnica HAZOP.

Palabra Guía.	Significado.	Ejemplo de desviación.	Ejemplo de causas originadoras.
NO	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay flujo en una línea.	Bloqueo: fallos de bombeo, válvula cerrada o atascada. Fuga: válvula abierta, fallo de control.
MÁS	Aumento cuantitativo de una variable.	Más flujo (Más caudal)	Presión de descarga reducida; succión presurizada; controlador saturado; fuga; lectura errónea de instrumentos.
		Más temperatura	Fuegos exteriores; bloqueo; puntos calientes; explosión en reactor; reacción descontrolada.
MENOS	Disminución cuantitativa de una variable.	Menos caudal	Fallo de bombeo; fuga; bloqueo parcial; sedimentos en línea; falta de carga; bloqueo de válvulas.
		Menos temperatura	Pérdidas de calor; vaporización; venteo bloqueado; fallo de sellado.
INVERSO	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende.	Flujo inverso.	Fallo de bomba; sifón hacia atrás; inversión de bombeo; válvula anti retorno que falla o está insertada en la tubería de forma incorrecta.
ADEMÁS	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que	Impurezas o una fase extraordinaria.	Entrada de contaminantes del exterior como aire, agua

Anexo 2: Continuación.

DE	las intensiones del diseño.		o aceites; productos de corrosión; fallo de aislamiento; presencia de materiales por fugas interiores; fallos de la puesta en marcha.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Parte de lo que debería ocurrir sucede según lo previsto.	Disminución de la composición en una mezcla.	Concentración demasiado baja en la mezcla; reacciones adicionales; cambio en la alimentación.
DIFERENTE DE	Actividades distintas respecto a la operación normal.	Cualquier actividad	Puesta en marcha y parada; pruebas e inspecciones; muestreo; mantenimiento; activación del catalizador; eliminación de tapones; corrosión; fallo de energía; emisiones indeseadas etc.

Nota: El análisis de riesgos por Hazop se realizará en los equipos de la planta que le corresponden a cada subgrupo.

### Anexo 3: Banco de datos de los parámetros medidos en el proceso.

➤ Extractores.

Muestras	Eficiencia		
	Replicas		
	1	2	3
1	98.69	99.14	99.36
2	86.91	92.70	91.20
3	97.64	93.13	92.42
4	95.96	99.55	95.45
5	99.49	97.20	98.90
6	99.17	99.45	98.90
7	99.17	99.45	98.21
8	96.65	97.10	97.64
9	93.13	92.42	95.96
10	99.55	95.45	99.49
11	97.20	98.90	98.69
12	99.14	99.36	86.91
13	92.70	91.20	97.64
14	93.13	98.90	99.17
15	99.45	98.21	96.65
16	97.10	97.64	93.13
17	92.42	95.96	97.20
18	98.90	98.69	99.14
19	99.36	86.91	92.70
20	91.20	86.91	92.70

Anexo 3: Continuación.

➤ Tamizadores.

Muestras	Presión (Pa)			
	Replicas			
	1	2	3	4
1	0.3	0.4	0.3	0.4
2	0.3	0.4	0.4	0.5
3	0.4	0.5	0.3	0.5
4	0.3	0.5	0.3	0.3
5	0.3	0.2	0.4	0.4
6	0.4	0.3	0.4	0.3
7	0.3	0.3	0.3	0.3
8	0.4	0.5	0.3	0.3
9	0.4	0.4	0.3	0.3
10	0.4	0.3	0.3	0.3
11	0.3	0.2	0.5	0.3
12	0.2	0.3	0.3	0.2
13	0.2	0.2	0.4	0.3
14	0.6	0.6	0.6	0.6
15	0.4	0.4	0.3	0.5
16	0.4	0.5	0.3	0.5
17	0.3	0.5	0.3	0.3
18	0.3	0.2	0.4	0.4
19	0.4	0.3	0.4	0.2
20	0.2	0.4	0.3	0.6

Muestras	Fibra Rápida			
	Replicas			
	1	2	3	4
1	155	160	158	162
2	153	157	155	153
3	156	154	156	154
4	162	157	165	169
5	139	151	200	200
6	156	150	159	150
7	161	152	150	151
8	154	155	155	156
9	155	153	152	152
10	156	150	153	152
11	160	164	167	156
12	139	151	165	169
13	160	162	152	150
14	126	130	128	123
15	156	152	159	153
16	156	154	156	154
17	162	157	165	169
18	139	151	200	200
19	156	150	159	160
20	162	152	150	126

Anexo 3: Continuación.

➤ Evaporadores TASTE.

Muestras	Temperatura de Pasteurización			
	Replicas			
	1	2	3	4
1	93.4	94.3	94.5	92.3
2	92.4	92.1	92.6	93.5
3	92.5	93.3	93	94
4	94	92.5	93	93.6
5	96.2	97.4	96.9	93.2
6	93.6	96.9	96.7	97.8
7	97.2	94.5	95.4	94.2
8	95.6	96.5	94.5	93.6
9	95.6	94.3	96.5	95.9
10	94.3	95.1	94.5	94.3
11	93.4	93.1	93.5	95.4
12	96.5	96.2	92.5	93.8
13	97	96.1	93.9	90.3
14	90	97	96.7	96.9
15	97.1	92.2	97.5	97.3
16	97.4	95.5	97.4	96.9
17	93.2	93.6	96.9	96.7
18	97.8	97.2	94.5	95.4
19	94.2	95.6	96.5	93.4
20	93.1	93.5	95.4	96.5

Muestras	Temperatura de Enfriamiento			
	Replicas			
	1	2	3	4
1	18.5	18.4	18.5	19.9
2	20.5	20.4	19.1	20
3	20	20.1	20	20.1
4	20	19	20.1	24.2
5	24.3	23.2	21.2	21.2
6	20.4	18.9	18.8	17.5
7	17.4	17.3	17.6	26.1
8	25.9	26.2	24.1	25.9
9	17.8	17.4	18.3	17.3
10	17.3	17.9	17.3	17.4
11	17.8	17.4	17.8	18.1
12	17.5	17.8	19.8	19.2
13	20.1	19.1	17.8	17.3
14	17.3	21.5	21.3	21.5
15	20	17.3	17	19.4
16	20.1	24.1	25.3	24.8
17	25.9	21.9	24.2	25.1
18	23.7	25.3	21.2	21.2
19	20.4	18.9	18.8	17.5
20	17.4	17.3	17.6	26.1

Anexo 3: Continuación.

Solidos Solubles (°Brix)				
Replicas				
Muestras	1	2	3	4
1	65.6	66.2	66.49	68.1
2	66.8	64.77	66.1	66.3
3	57.38	65.2	66.69	65.33
4	68.8	67.22	64.1	65.2
5	65.6	65.3	65.4	65.5
6	65.4	65.2	65.2	65.4
7	66.64	67.1	66.2	66.5
8	65.4	65.3	63.5	67.5
9	65	65.3	69.5	64
10	64.77	66.1	66.3	57.38
11	65.2	66.69	65.33	68.8
12	67.22	64.1	65.2	65.6
13	65.3	65.4	65.5	65.4
14	65.4	65.3	63.5	67.5
15	65	65.3	69.5	64
16	64.77	66.1	66.3	66.2
17	66.49	68.1	66.8	64.77
18	66.1	66.3	57.38	65.2
19	66.69	65.33	68.8	67.22
20	65.2	65.6	65.3	65.4

Anexo 3: Continuación.

➤ Generadores de Vapor.

Presión de Vapor				
Replicas				
Muestras	1	2	3	4
1	12.3	12.3	12.4	12.4
2	12.5	12.1	11.6	11.4
3	11.8	12	12	12.1
4	12	12	12	12.1
5	12.3	12.3	12.3	11.6
6	12.7	12.3	12.4	12
7	12.1	11.6	10.4	12.3
8	11.2	12	11.5	11.6
9	11.8	12.2	12.1	12.1
10	11.4	12.2	12.5	11.3
11	11.6	11.9	12.3	10
12	11.9	12	12.3	10
13	11	11.9	11.9	12.2
14	11	12.8	11.9	12.2
15	11.6	12.9	12.2	12
16	11.6	11.9	12.2	12
17	11.8	11.9	12	11.8
18	11.4	11.3	12	12.5
19	12.1	12.3	12	12.4
20	12.1	12.3	12	12.4

## Anexo 4: Etiquetado de peligro (Frasas R y S).

### Indicación de riesgos específicos

R1	Explosiva al secarse
R2	Riesgo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R3	Riesgo extremo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R4	Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles
R5	El calentamiento puede causar la explosión de la sustancia
R6	Explosiva en o sin contacto con el aire
R7	Puede causar incendios
R8	En contacto con material combustible, puede causar incendios
R9	Explosiva al ser mezclada con material combustible
R10	Inflamable
R11	Sumamente inflamable
R12	Extremadamente inflamable
R13	Gas licuado extremadamente inflamable
R14	Reacciona violentamente con el agua
R15	Libera gases sumamente inflamables en contacto con el agua
R16	Explosiva al mezclarse con sustancias oxidantes
R17	Espontáneamente inflamable en el aire
R18	Al usarla, puede formar una mezcla de aire-vapor inflamable-explosiva
R19	Puede formar peróxidos explosivos
R20	Dañina al ser inhalada
R21	Dañina en contacto con la piel
R22	Dañina al ser ingerida
R23	Tóxica al ser inhalada
R24	Tóxica en contacto con la piel
R25	Tóxica al ser ingerida
R26	Muy tóxica al ser inhalada
R27	Muy tóxica en contacto con la piel
R28	Muy tóxica al ser ingerida
R29	Libera gas tóxico en contacto con el agua
R30	Puede volverse sumamente inflamable al ser usada

## Anexo 4: Continuación

R31	Libera gas tóxico en contacto con ácidos
R32	Libera gas muy tóxico en contacto con ácidos
R33	Peligro de efectos acumulativos
R34	Causa quemaduras
R35	Causa quemaduras graves
R36	Irrita los ojos
R37	Irrita el sistema respiratorio
R38	Irrita la piel
R39	Peligro de efectos irreversibles muy graves
R40	Posible riesgo de efectos irreversibles
R41	Riesgo de grave daño a los ojos
R42	Puede causar sensibilización al ser inhalada
R43	Puede causar sensibilización en contacto con la piel
R44	Riesgo de explosión al calentarse en un ambiente cerrado
R45	Puede causar cáncer
R46	Puede causar daño genético hereditario
R47	Puede causar defectos de nacimiento
R48	Peligro de grave daño para la salud por exposición prolongada
R49	Puede causar cáncer al ser inhalada
R50	Muy tóxica para organismos acuáticos
R51	Tóxica para organismos acuáticos
R52	Dañina para organismos acuáticos
R53	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente acuático
R54	Tóxica para la flora
R55	Tóxica para la fauna
R56	Tóxica para los organismos del suelo
R57	Tóxica para las abejas
R58	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente
R59	Peligrosa para la capa de ozono
R60	Puede perjudicar la fertilidad
R61	Puede causar daño fetal
R62	Posible riesgo de pérdida de fertilidad
R63	Posible riesgo de daño fetal
R64	Puede causar daño a lactantes

## Anexo 4: Continuación

### Indicaciones sobre precauciones de seguridad

S1	Manténgase cerrado
S2	Manténgase fuera del alcance de los niños
S3	Manténgase en un lugar fresco
S4	Manténgase lejos de las viviendas
S5	Manténgase el contenido en ... (líquido apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
S6	Manténgase en ... (gas inerte que debe ser especificado por el fabricante)
S7	Manténgase el envase herméticamente cerrado
S8	Manténgase el envase seco
S9	Manténgase el envase en un lugar bien ventilado
S12	No mantener el envase sellado
S13	Manténgase lejos de alimentos, bebidas y forraje
S14	Manténgase lejos de ... (materiales incompatibles que deben ser indicados por el fabricante)
S15	Manténgase lejos del calor
S16	Manténgase lejos de fuentes de ignición - NO FUMAR
S17	Manténgase lejos de material combustible
S18	Manipúlese y ábrase el envase con cuidado
S20	No comer ni beber cuando se use
S21	No fumar cuando se use
S22	No inhalar el polvo
S23	No inhalar el gas-humo-vapor-rocío (los términos apropiados deben ser especificados por el fabricante)
S24	Evítese el contacto con la piel
S25	Evítese el contacto con los ojos
S26	En caso de haber contacto con los ojos, enjuáguese de inmediato con abundante agua y busque asistencia médica
S27	Quítese de inmediato toda la ropa contaminada
S28	Después del contacto con la piel, lavar de inmediato con abundante ... (debe ser especificado por el fabricante)
S29	No vaciar en los desagües
S30	Nunca agregar agua a este producto

#### Anexo 4: Continuación.

S33	Tomar medidas preventivas contra descargas estáticas
S34	Evítense golpes y fricciones
S35	Este material y su envase deben desecharse de manera segura
S36	Usar ropa protectora apropiada
S37	Usar guantes apropiados
S38	En caso de ventilación insuficiente, úsese el equipo de respiración apropiado
S39	Úsese protección para ojos y cara
S40	Para limpiar el piso y todos los objetos contaminados por este material úsese ... (debe ser especificado por el fabricante)
S41	En caso de incendios o explosiones, no inhalar el humo
S42	Durante la fumigación o rociado, usar equipo de respiración apropiado (los términos adecuados deben ser especificados por el fabricante)
S43	En caso de incendio, usar ... (indíquese en el espacio el tipo específico de equipo contra incendios. Si el agua aumenta el riesgo, hay que indicar: "Nunca usar agua")
S44	En caso de accidente o indisposición, buscar asistencia médica (mostrar la etiqueta si es posible)
S45	En caso de accidentes o indisposición, buscar asistencia médica de inmediato (mostrar la etiqueta si es posible)
S46	En caso de ingestión, buscar asistencia médica de inmediato y mostrar el envase o la etiqueta
S47	Manténgase a temperatura no mayor que ... °C (debe ser especificada por el fabricante)
S48	Manténgase humedecido con ... (material apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
S49	Manténgase únicamente en el envase original
S50	No mezclar con ... (debe ser especificado por el fabricante)
S51	Úsese solo en áreas bien ventiladas
S52	No recomendable para ser usado en interiores
S53	Evítense la exposición - obtener instrucciones especiales antes de su uso
S54	Obtener el consentimiento de las autoridades de control de la contaminación antes de descargar en plantas de tratamiento de aguas residuales
S55	Tratar con las mejores técnicas disponibles antes de descargar en desagües o ambientes acuáticos

## **Anexo 5: Caracterización de las sustancias que intervienen en el proceso.**

**Amoniaco:** Refrigerante primario del sistema de refrigeración.

Propiedades físicas y químicas:

Nombre químico: Amoniaco.

Nombre común: Amoniaco anhidro.

Fórmula: NH<sub>3</sub>.

Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.

R20/R21/R22/R23/R24/R25/R26/R27/R28/R30/R34/R35/R36/R37/R38/R41/R54/R55 /R59.

S1/S2/S7/S20/S23/S24/S25/S26/S28.

Peso molecular: 17,03.

Calidad comercial: 99,5 por 100 de NH<sub>3</sub>.

Calidad para refrigeración: 99,95 por 100 de NH<sub>3</sub>.

Límites de explosividad como gas (porcentaje en volumen en aire) LEL/HEL.: 16/25

Temperatura de autoignición como gas: 651 °C (1.204 °F).

Punto de fusión: -77,75 °C

Punto de ebullición: -33,35 °C

Densidad (kg/l a 15,6 °C): 0,617

Densidad (kg/l a -33,35 °C y 1 Atm): 0,6819

Densidad del gas (aire=1). 0,597 (0 °C y 1 Atm)

Presión de vapor absoluta: 4,4 bar a 0 °C; 8,7 bar a 20 °C; 20,7 bar a 50 °C.

Calor de vaporización: 327 kcal/kg

Olor: Pungente característico

Color: Incoloro

Sensibilidad a la luz: No

Afinidad por el agua: Sí.

## Anexo 5: Continuación.

Corrosividad: Corrosivo para el cobre, cinc y sus aleaciones y superficies galvanizadas.

➤ En caso de escape:

Alejarse del lugar donde se produce el escape, desplazándose en sentido transversal al aire, lo más cercano del suelo posible para evitar que el contacto sea mayor.

➤ Efectos del amoníaco en la salud:

- El amoníaco es un irritante que afecta la piel, los ojos, y las vías respiratorias.

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. Aguada	Irritación	Sensibilización	Tox. dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	Tox. para reproducción
Amoniaco	X	R,O,P		X			X	

**Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R).**

- La ingestión puede causar efectos corrosivos en la boca, esófago, y estómago.
- Los síntomas de la exposición a amoníaco son una sensación de quemadura (en los ojos, nariz, y garganta), dolor en los pulmones, dolor de cabeza, náuseas, tos, y un aumento en la velocidad de respiración.
- La inhalación de vapores de amoníaco concentrado o cloraminas, provoca irritación de los tejidos profundos de los pulmones. Puede provocar edema pulmonar (líquido en los pulmones) y neumonía.
- La respiración de gases que contengan  $\text{NH}_3$  aumenta la presión sanguínea y una exposición duradera puede causar la muerte.
- El amoníaco gaseoso se disuelve rápidamente en las superficies húmedas del cuerpo, causando quemaduras alcalinas.

## Anexo 5: Continuación.

- El contacto con amoníaco anhidro líquido produce quemaduras en segundo grado con formación de ampollas.
- Las soluciones débiles de amoníaco pueden producir inflamación y quemaduras moderadas.
- El contacto de amoníaco concentrado gas o el líquido anhidro con los ojos, es muy serio. El daño puede ocurrir de 5 a 10 segundos. Se recomienda lavar rápidamente con abundante agua, y acudir de inmediato al médico, de no ser así se puede producir un daño permanente y en ocasiones ceguera completa.
- La exposición en los ojos a vapores de amoníaco menos concentrado, causan quemaduras moderadas que generalmente sanan bien, pero que también requieren de un tratamiento médico inmediato.

Los compuestos de amoníaco presentes en los alimentos, generalmente se consideran inocuos.

A continuación se presentan algunas concentraciones en la que el amoníaco produce efectos:

➤ Efectos en el medio ambiente:

El amoníaco adiciona nitrógeno al ambiente. En áreas que no pueden manejar el nitrógeno adicionado, pueden ocurrir perturbaciones en el ecosistema. Estos incluyen efectos tóxicos en las plantas, peces, animales, y cambios en el balance de las especies. En general, tales efectos aparecen sólo en las proximidades cercanas a fuentes específicas concentradas de amoníaco, tales como criaderos de animales y descargas industriales.

Puede causar la acidificación del suelo por su rápida conversión a nitrato ( $\text{NO}_3$ ), liberando iones hidrógeno como otros ácidos.

## Anexo 5: Continuación.

- Condiciones de almacenamiento y manipulación de amoniaco:

Capacidad del recipiente de almacenamiento: 3 ton

Forma del recipiente: horizontal, cilíndrico.

Dimensiones del recipiente: Long.=3300mm, Diámetro=1200mm

Material de construcción: Acero negro al carbono.

Localización de la soldadura en el recipiente: Tapas soldadas y tuberías.

Longitud total de soldadura: Tapas y Tuberías 2795mm.

Protección del recipiente: exterior

Existencia de accesorios en el recipiente y su localización: control de nivel, manómetro y válvula de seguridad.

Fecha de fabricación del recipiente: 20/01/81

Condiciones de almacenamiento de la sustancia: presión= 12.5 Kg/cm<sup>2</sup>  
temperatura=35 °C

Cantidad de sustancia almacenada: 3 ton.

- Condiciones para su uso en el proceso.

Uso en el proceso: Como agente refrigerante.

Condiciones en las que se usa la sustancia: presión= 0.21Kg/cm<sup>2</sup>, Temp.=-30 °C;  
presión= 2.5 Kg/cm<sup>2</sup>, Temp.=-5 °C

Anexo 5: Continuación.

Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias: Salideros por sellos mecánicos de compresores y bombas, y los prenses de las válvulas.

Material de construcción de los equipos donde es usada: Acero negro sin costura.

Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada: 138m por un lado y 75m por el otro.

Diámetro de la tubería: 1¼", 3".

Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería: Válvulas, manómetros.

Material de construcción de los accesorios y las tuberías: Acero negro sin costura.

➤ Aplicaciones:

El amoníaco es una materia prima muy importante para la fabricación de numerosos productos de la industria pesada, sobre todo ácido nítrico y sus derivados, sosa, urea, sulfato amónico y otros abonos orgánicos e inorgánicos, especialmente abonos compuestos.

El gas amoníaco puro se emplea técnicamente en gran cantidad como medio de refrigeración en máquinas frigoríficas ya que:

- Presenta buenas propiedades termodinámicas así como de transferencia de calor y masa, más conceptualmente bajo condiciones específicas de operación, el coeficiente de comportamiento del sistema es uno de los mayores.
- No reacciona químicamente con los materiales con que son construidos los sistemas de refrigeración, excepto aquellos fabricados con cobre y sus aleaciones, el amoníaco no puede ser usado como sustituto en un circuito

## Anexo 5: Continuación.

construido para refrigerantes halogenados (con cobre o sus aleaciones) ya que provoca la corrosión acelerada de este material.

- No se disuelve en aceite lubricante.
- No es sensible al aire húmedo y agua.
- Las fugas, eventualmente pequeñas son fácilmente detectadas.
- Es el refrigerante actual de más bajo precio.

Ventajas que presenta desde el punto de vista medio ambiental:

1. Su gas es dos veces más ligero que el aire, en caso de emisión al medio ambiente se dispersa rápidamente en la atmósfera descomponiéndose en pocos días.
2. En caso de desagüe líquido, el amoníaco ebulle inmediatamente porque su punto de ebullición es de  $-33^{\circ}\text{C}$  (a presión atmosférica) no teniendo el riesgo de polucionar el subsuelo a las aguas de superficie.
3. No tiene efecto en la capa de ozono estratosférico, es completamente hidrogenado y no contiene átomos de cloro o de bromo que son los que se combinan con el ozono y lo descomponen.
4. No tiene efecto invernadero, su emisión no contribuye al calentamiento global.

Desventaja:

El amoníaco como refrigerante tiene como desventaja que es tóxico, inflamable, con olor penetrante y desagradable. Por razón de seguridad en el acondicionamiento del aire de un local de trabajo o de la atmósfera en contacto con productos alimenticios, es necesario el uso de un fluido secundario, como ocurre en el sistema de la empresa, donde el refrigerante secundario es el glicol, este es quien enfría el jugo simple antes de envasar.

Anexo 5: Continuación.

**Desinfectantes:** Se utilizan en la limpieza de la planta y algunos de los equipos que la componen.

**ASEP 150:** Desinfectante líquido con base de ácido peracético y peróxido de hidrógeno. (11)

Nombre del producto: ASEP 150

Fórmula Química: Contenido en ácido peracético= 15% +/-1%, contenido de peróxido de hidrogeno= >13%.

Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.

R21/R22/R23/R24/R25/R26/R27/R28/R30/R34/R35/R36/R37/R38/R41/R54/R55/R59S2/S13/S18/S20/S22/S24/S25/S26/S28/S37/S39.

➤ Datos físicos:

Apariencia: Líquido transparente e incoloro de olor pugnante.

Solubilidad: soluble en agua

Densidad: 1.12 +/- 0.01g/cm<sup>3</sup>

➤ Características:

- Por sus características no espumantes está indicado para la limpieza CIP.
- Fácilmente enjuagable.
- Producto de acción inmediata.
- Acción microbicida.
- Puede ser corrosivo para metales ferrosos.

## Anexo 5: Continuación.

➤ Peligros para la salud:

Partes de organismo que afecta:

Debe evitarse el contacto del producto con los ojos, la piel y mucosas. Se recomienda usar guantes y gafas durante el manejo.

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. Aguada	Irritación	Sensibilización	Tox. dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	Tox. para reproducción
ASEP 150	X	O,P	X	X			X	

**Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R).**

Emergencias:

Piel: lavar abundantemente con agua

Ojos: lavar abundantemente con agua y con una solución de bicarbonato sódico a 2 %. Seguidamente solicitar asistencia médica.

Precauciones

- No utilizar en aguas con más de 200 ppm de cloruros.
- Aplicar por pulverización, inmersión o recirculación del producto diluido en agua a la concentración de 0.01 al 0.5 % y un tiempo de contacto de 10-15 minutos a temperatura ambiente.
- No mezclar productos químicos puros.
- La aplicación del producto en la industria alimentaria, para uso en desinfección de superficies y equipos, deberá llevarse a cabo en ausencia de alimentos.

## Anexo 5: Continuación.

- Condiciones de almacenamiento y manipulación.

Se compra el producto en envases plásticos (Gárrafa) de 30 Kg, se adquiere de esta manera con el fin de solicitar al almacén solo la cantidad necesaria para cada preparación de solución, así se evita derrames de productos y exposición a peligros en la manipulación.

Estos productos se encuentran en el almacén de insumos, que es un lugar con todas las condiciones adecuadas para almacenar este tipo de producto, totalmente separados de otros productos no tóxicos y debidamente señalizados cumpliendo con las normas de calidad ISO-9000.

### **Hidróxido de Sodio.**

- Propiedades generales:
  - Nombre químico: **HIDROXIDO DE SODIO**
  - Nombre comercial: **SOSA CAUSTICA**
  - Sinónimos: Sosa Grado Industrial, Lejía, Lejía Cáustica, Hidrato de Sodio, Sosa, Pennvidral,
  - Fórmula química, molecular y desarrollada: NaOH
  - Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.  
R21/R22/R23/R24/R25/R26/R27/R28/R30/R34/R35/R36/R37/R38/R41/R54/  
R55/R59.  
S2/S13/S18/S20/S22/S24/S25/S26/S28/S37/S39.
  - Grupo químico: Base Fuerte
  - Peso molecular: 39.9971 g / mol
  - %peso:48.5

## Anexo 5: Continuación.

- Propiedades físicas y químicas
  - Estado físico: Líquido Viscoso
  - Capacidad calorífica: No Relevante
  - Color: Blanquecino
  - Densidad de vapor (aire = 1): No Aplica
  - Olor: Sin olor
  - Densidad relativa (agua = 1): 1.530 (15.6° C y 50% peso)
  - Temperatura de ebullición: 145° C (al 50% peso)
  - Densidad del gas seco: No Aplica
  - Temperatura de fusión: 10° C (al 50% peso)
  - Densidad del líquido: 1.530 g/cc (15.6° C y 50% peso)
  - Temperatura de inflamación: No Aplica
  - Relación gas/líquido: No Aplica
  - Temperatura de autoignición: No Aplica
  - Coeficiente de expansión: No Aplica
  - Inflamabilidad – explosividad: No Aplica
  - Solubilidad en agua: 100% Soluble
  - Presión de vapor: 6.3 mmHg (40° C, 50% peso)
  - Calor de combustión: No Aplica
  - % de volatilidad: No Aplica
  - Calor de vaporización: No Aplica
  - Velocidad de evaporación: (butilacetato=1) No Aplica
  - Calor de fusión: No Relevante
  - Temperatura de descomposición: No Aplica

## Anexo 5: Continuación.

### ➤ Aplicaciones

El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, rayón, papel, explosivos, pinturas y productos de petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos.

### ➤ Peligro para la salud:

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. Aguada	Irritación	Sensibilización	Tox. dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	Tox. para reproducción
Sosa Caustica	X	O,P,R	X	X			X	

**Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R).**

- Ingestión: Puede causar daños graves y permanentes al sistema gastrointestinal.
- Inhalación: Irritación con pequeñas exposiciones, puede ser dañino o mortal en altas dosis.
- Piel: Peligroso. Los síntomas van desde irritaciones leves hasta úlceras graves.
- Ojos: Peligroso. Puede causar quemaduras, daños a la córnea o conjuntiva.

**Anexo 6: Resultados obtenidos del análisis por HAZOP.**

**Extractores:** Son máquinas que se basan en el principio único de extracción. Es el equipo destinado a exprimir la fruta y obtener tres corrientes por separado: Jugo, Emulsión agua-aceite y desechos sólidos.

<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas a tomar</b>
No	Ausencia de alimentación de agua.	1. Fallo en la bomba B-1.	- No se recupera el aceite esencial, al no haber presencia de agua para formar la emulsión de agua-aceite.	-Verificar que la bomba B-1 y la válvula V-1 se encuentren en óptimas condiciones, mediante mantenimientos preventivos.
		2. Válvula V-1 cerrada o atascada.		
		3. Los tanques elevados se quedaron sin agua.	- Se volatiliza el aceite y contamina el aire.	- Mantener la frecuencia de las inspecciones tecnológicas diariamente.
		4. Tubería perforada impidiendo que llegue el fluido a los extractores.	- La bomba puede sufrir daños por ausencia de agua en los tanques.	

				-Cambiar la bomba B-1 de ser necesario.
Ausencia de aire comprimido	1. Fallo en el compresor C-1.	- No funcionan los pistones, provocando la no recuperación en la leva principal y comienzan golpes mecánicos que dañan los elementos del extractor.  - Disminución de la cantidad de producto final, por parada necesaria de los extractores.	- Mantenimiento preventivo al compresor C-1.	
	2. Válvula V-2 cerrada o atascada.		-Verificar que la válvula V-2 esté funcionando bien.	
	3. Fuga en alguna de las tuberías o accesorios.		- Mantener la frecuencia de las inspecciones tecnológicas diariamente.  -Revisión total de los conductos para la corrección de fugas de aire.  - Detener inmediatamente los extractores para evitar daños mayores.	

				-Cambiar el compresor C-1 de ser necesario.
Más	Aumento de la presión de agua.	1. Tupición en los orificios de los aros- duchas.	-Roturas en racores y mangueras.  - Afecta la recuperación de la emulsión agua-aceite.	-Instalación de presostatos y controles automáticos.  -Limpieza mecánica de los aros-duchas.
	Demasiada presión de aire	1. La válvula reductora VR-1 no está funcionando.	- Descontrol en la secuencia de trabajo de las copas, provocando vibraciones en el equipo y hasta rotura de las copas y cuchillas.	-Parar de inmediato el proceso para evitar rotura en los extractores.  -Revisar la válvula reductora VR-1 y dar mantenimiento preventivo para asegurar su buen funcionamiento.

				- Cambiar la válvula reductora VR-1 de ser necesario.
Menos	Menos presión de agua	1. La bomba B-1 no está funcionando bien.	- No se recupera todo el aceite posible.	- Revisión de la bomba para verificar su buen funcionamiento.  -Realizar mantenimientos preventivos.
	Menos presión de aire	1. El compresor no está funcionando bien.  2. La válvula V-1 no se encuentra abierta del todo.	- No trabaja bien el extractor, al no garantizar los 75 golpes/minutos y no extraer todo el jugo posible presente en la fruta.	-Revisión del compresor C-1, para verificar su funcionamiento.  -Realizar mantenimientos preventivos.  - Revisión de la posición de la válvula V-1.

Además de	Abundantes defectos (semillas, membranas, albedos) en el jugo.	1. Tubo-filtro rotos.	-Deficiente calidad en el jugo (% de pulpa elevado)  -Calidad no óptima para la producción de celdillas.	-Realizar inspecciones diariamente y sustituir los elementos dañados.
Diferente de	Entrada de la fruta al extractor con calibre no deseado.	1. La mesa calibradora no está funcionando bien.  2. Mala operación por parte de los trabajadores en la mesa de selección de frutas.	-Mala extracción de jugo, dañando la eficiencia del proceso.	-Verificar que la calibradora este a la altura adecuada.  -Eliminar las frutas no aptas para el proceso en la mesa de selección.

Anexo 6. Continuación.

**Tamizadores:** Son equipos encargados de la filtración del jugo. Eliminan la pulpa grosera.

<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas a tomar</b>
No	Ausencia de aire comprimido	<p>1. Fallo en el compresor C-1</p> <p>2. Válvula V-3 cerrada o atascada</p> <p>3. Fuga en alguna de las tuberías o accesorios.</p>	<p>-No se produce el tamizado.</p> <p>-Parada de la producción por mal funcionamiento del equipo.</p>	<p>-Mantenimiento preventivo en el compresor C-1.</p> <p>- Verificar que la válvula V-3 esté funcionando bien.</p> <p>- Revisión total de tuberías y accesorios para la corrección de fugas.</p> <p>- Cambiar el compresor C-1 de ser necesario.</p>
Más	Aumento de presión en el tamizador	<p>1.No está funcionando la válvula reductora VR- 2</p>	<p>-Prensa muy apretada, provocando que pase a través de la malla pulpilla no deseada.</p>	<p>-Ajustar la prensa a la presión adecuada, apoyándose en el análisis de la fibra rápida.</p>

		<p>2. Mal ajuste de la prensa por parte del operador</p>	<p>- Perforación de la malla por sobrepresión.</p>	<p>- Mantener la frecuencia del análisis de fibra rápida.</p> <p>- En caso de perforación de la maya, debe ser cambiada.</p> <p>- Verificar el funcionamiento de la válvula reductora VR-2, cambiarla de ser necesario.</p>
Menos	Disminución de presión de aire comprimido.	<p>1. Fallos en las reguladoras de aire VR- 2.</p> <p>2. Mal ajuste de la prensa por parte del operador.</p> <p>3. Desajuste de la prensa por desgaste.</p>	<p>- Mal funcionamiento de la prensa que trae como consecuencia pérdidas de jugo en el filtrado.</p>	<p>-Ajustar la prensa con la presión adecuada, apoyándose en el análisis de fibra rápida.</p> <p>-Darle mantenimiento a la reguladora de aire y cambiar de ser necesario.</p>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambiar los equipos por desgaste, de ser necesario.</li> <li>-Inspecciones tecnológicas en el proceso.</li> <li>-Mantener la frecuencia del análisis de Fibra Rápida.</li> </ul>
Además de	Incorporación de partículas groseras al jugo a la salida del equipo.	1. Rotura de la malla de los tamizadores.	-Presencia de partículas groseras en el jugo de entrada	- Revisión de las mallas antes de iniciar la operación
	Presencia de hesperidina en el jugo.	1. Deficiente limpieza del equipo.	- Afectación de la calidad del producto	- Realizar la correcta limpieza del equipo para eliminar las incrustaciones.

Anexo 6. Continuación

**Evaporadores:** El sistema está compuesto por tres evaporadores TASTE (Termo Acceleration Short Time Evaporator), son los encargados de concentrar el jugo obtenido de la fruta, estos aplican el principio de reducción de la temperatura de ebullición por enrarecimiento (vacío) del aire.

<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas a tomar</b>
No	Ausencia de jugo	1. La bomba B-2 no está funcionando bien.  2. El tanque T-2 se quedó sin jugo.  3. La válvula V-4 está cerrada o atascada	-Perdidas de vapor al no haber intercambio con el jugo, con el deterioro de la tubería por el sobrecalentamiento.  - Si el tanque se queda sin jugo, la bomba cavita.	-Detener de inmediato el suministro de vapor al evaporador TASTE.  -Parar la bomba B-2, de haber detectado el tanque T-2 vacío.  -Verificar que la bomba B-2 esté funcionando bien.  - Verificar el buen funcionamiento de la válvula V-4.  -Automatización del proceso.

Ausencia del agua de torre	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo en la bomba de agua de torre B-3.</li> <li>2. Valvula V-5 cerrada o atascada</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mal funcionamiento del equipo (no se logra la concentración deseada en el jugo).</li> <li>- Temperatura de salida del producto elevada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Darle mantenimiento preventivo a la bomba de agua de torre B-3.</li> <li>- Garantizar las inspecciones tecnológicas diarias.</li> <li>- Verificar el buen funcionamiento del a válvula V-5</li> </ul>
Ausencia de vapor de agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La válvula V-6 está cerrada o atascada.</li> <li>2. Fugas de vapor por tuberías o accesorios.</li> <li>3. La caldera no está generando vapor.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mal funcionamiento del evaporador, al no ocurrir la evaporación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar que la válvula V-6 esté funcionando bien.</li> <li>- Verificar que las calderas no presenten ningún problema.</li> <li>- Revisión total de tuberías y accesorios para detectar fugas.</li> </ul>
Ausencia de amoniaco.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Válvula VA-1 cerrada en la línea de</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se recupera el aroma, fase acuosa, o sea ningún subproducto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisar la posición de la válvula VA-1 antes de comenzar</li> </ul>

		<p>refrigerante.</p> <p>2. Fugas de amoniaco en las tuberías y accesorios.</p>	<p>aromático.</p> <p>-Temperatura de salida del producto muy elevada.</p> <p>-Peligro para los operadores por exposición a fugas de amoniaco.</p>	<p>la evaporación.</p> <p>- Eliminar el escape de amoniaco lo antes posible, para evitar daños mayores a los operadores.</p>
Menos	Menos caudal de jugo.	<p>1. Bajo nivel en los tanques de alimentación T-2.</p> <p>2. LA válvula V-4 no se encuentra en la posición adecuada.</p>	<p>-Afectaciones organolépticas del jugo.</p> <p>-Concentraciones elevadas a la salida (se carameliza el jugo)</p>	<p>-Automatización del equipo.</p> <p>-Verificar que la válvula V-4 se encuentre abierta del todo.</p>
	Menos temperatura de pasterización (92-96 °C)	<p>1. Baja presión en la alimentación del vapor procedente de las calderas.</p> <p>2. Muy superior</p>	<p>-Incorrecta pasterización del jugo e inactivación de enzimas.</p>	<p>-Mantener la presión del vapor entre 10-12 bar.</p> <p>-Mantenimiento preventivo a la válvula V-6.</p>

		<p>el flujo de jugo que de vapor.</p> <p>3. Mal funcionamiento de la válvula V-6.</p>		
	Menos presión de vapor.	1. Dificultades en la línea de vapor directo de caldera.	<p>-No se consigue la concentración deseada en el producto final.</p> <p>-Dificulta la extracción de gases incondensables</p>	- Mantener la presión del vapor entre 10-12 bar para el buen funcionamiento de los eyectores.
	Mayor caudal de Vapor	1. La válvula V-6 muy abierta.	-Concentración de jugo mayor que la deseada (formación de caramelo).	-Regular el flujo de vapor.
Más	Mayor caudal de jugo	1. La válvula V-4 muy abierta.	-No se consigue la concentración deseada.	-Regular el flujo de jugo.

Además de	Aparecen en el jugo partículas oscuras.	1. Se desprenden las películas del jugo quemado que estaban adheridas en las paredes de las tuberías.	- Se afecta la calidad del jugo por la presencia de defecto.	- Limpiar el evaporador eficientemente según el procedimiento.
	Aparecen en el jugo partículas blancas.	1. Precipitación de hesperidina.		
Diferente de	Chequeo de la capacidad y eficiencia.	1. Cumplimiento de procedimientos implementados en la empresa.	-Paradas momentáneas	-Planificar estas actividades

Anexo 6. Continuación.

<b>Sistema de generación de vapor (calderas):</b> Son generadores de vapor automáticos para la producción de vapor saturado.				
Palabra guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias	Medidas a tomar
No	Ausencia de gas licuado.	1. No se abasteció en tiempo.	- No enciende la llama.	-Chequear con frecuencia la existencia del gas.
	Ausencia de agua tratada	1. Válvula V-7 cerrada o atascada.  2. La bomba B-4 no está funcionando.  3. Tanque de agua tratada vacío.	-Los tubos se quiebran, incluso provoca la explosión de la caldera.	-Parar de inmediato la caldera.  -Cerrar el suministro de combustible.  - Esperar a que se enfríe la caldera.  -Verificar el motivo por la que no llega el agua tratada al hogar.
Más	Más agua en la caldera.	1. Fallos en el control de nivel de agua.  2.Fallos en la válvula V-7	-Pueden ocurrir arrastres de agua, estos son peligrosos y pueden causar serios trastornos en la línea de vapor,	- Revisión de los indicadores de nivel.  - Abrir la válvula de desagüe de superficie.

			<p>turbinas y máquinas.</p> <p>- El agua puede llegar al sobrecalentador y se producirá una presión excesiva en los tubos, que fácilmente puede causar una ruptura en ellos y causar un grave accidente.</p>	<p>- Verificar el funcionamiento de la válvula.</p>
Menos	Menos flujo de agua de alimentación.	<p>1. Combustión intensa de la caldera.</p> <p>2. La válvula V-7 se encuentra prácticamente cerrada.</p> <p>3. El tanque de agua tratada esta sin suministros.</p>	<p>- Se producen distorsiones en los tubos y en las chapas de las calderas y con frecuencia la destrucción del enladrillado, produciéndose fuertes escapes de vapor y agua e inclusive puede estallar la caldera.</p>	<p>-Se cerrará inmediatamente el abastecimiento de combustible.</p> <p>- Dejar enfriar la caldera, y después de fría subir el nivel de agua e investigar la causa.</p> <p>- Verificar que la válvula V-7 se encuentre bien abierta.</p> <p>- Verificar que el tanque de agua tratada no se quede vacío.</p>

	Menos presión en la alimentación de agua.	1. Fallos en la bomba B-3.	- Menos flujo de agua de alimentación.	-- Inmediatamente se debe poner a funcionar la bomba auxiliar, a menos que se haya perdido de vista el agua en el visor de vidrio. En tal caso, se debe actuar de acuerdo con las instrucciones para bajo nivel de agua.
	Menos entrada de oxígeno.	1. Fallo en el ventilador auxiliar.	-Combustión incompleta.	-Automatización del proceso.
Diferente de	Escape de vapor en la caldera.	1. Ruptura de tubos o fuga por los accesorios.	-Peligros de accidentes para los trabajadores y pérdidas en la eficiencia en las calderas.	- Cerrar la salida de vapor de la caldera y los registros de entrada de aire.  - Apagar los quemadores, dejar abierta la compuerta de tiro para que el vapor salga por la chimenea.  - Gradualmente abrir las válvulas de seguridad para reducir la presión en la caldera, salvo en los casos de falla en los tubos por falta de agua.

Anexo 6. Continuación.

**Sistema de refrigeración:** Es el encargado de garantizar la distribución de refrigerante al almacén refrigerado y a otros servicios de intercambio térmico (enfriamiento) de la planta industrial.

<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas a tomar</b>
No	No hermeticidad en el sistema.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Juntas en mal estado.</li> <li>2. Fallo en válvulas de seguridad.</li> <li>3. Aumento de presiones de trabajo.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escape de amoníaco de gran envergadura.</li> <li>- Posible quemadura y otros efectos nocivos a los trabajadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones tecnológicas al proceso.</li> <li>- Mantenimientos preventivos.</li> <li>- Buenas prácticas de operación.</li> <li>- Pruebas de hermeticidad al sistema.</li> </ul>
Más	Aumento de la presión (+ de 10 bar.) y la temperatura de condensación (35°C)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Exceso de aire en el condensador.</li> <li>2. Fallo en los elementos del condensador evaporativo.</li> </ol>	- Afectaciones en la eficiencia del sistema de refrigeración.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montar un purgador de aire automático.</li> <li>- Revisión periódica de los ventiladores (alarmas de fallos, etc.)</li> </ul>

Menos	Menos flujo de amoníaco	1. Fallo de bombeo. 2. Válvula VA-1 cerrada o atascada.	- Afectaciones en la eficiencia del sistema de refrigeración.	- Instalar alarma de fallo de bomba  -Verificar el buen funcionamiento de la válvula VA-1.
-------	-------------------------	------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

Anexo 6. Continuación.

**Tanque de Estandarización:** Es un tanque con agitador para homogenizar el lote, con un enchaquetado por donde circula amoniaco como agente refrigerante.

<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas a tomar</b>
No	Flujo de amoniaco	<p>1. Problemas en el sistema de refrigeración.</p> <p>2. Válvula VA-2 cerrada o atascada.</p>	<p>-Aumenta el peligro de que en el jugo se desarrollen microorganismos fermentativos, provocando pérdidas en la producción.</p>	<p>-Verificar el buen funcionamiento de la válvula VA-2.</p> <p>- Verificar el buen funcionamiento del sistema de refrigeración.</p>
Más	Más presión de amoniaco	1. Exceso de aire en el condensador.	<p>-Perforación del enchaquetado, provocando fugas de amoniaco.</p> <p>-Posibles daños para el personal de trabajo por inhalación o contacto con el amoniaco.</p>	<p>-Cerrar la válvula VA-2 de inmediato.</p> <p>- Verificar el buen funcionamiento del ciclo de refrigeración.</p>

Anexo 6. Continuación.

**Llenadoras:** Este equipo es semiautomático y es donde se envasa el producto terminado, en bidones de 200 L. Esta garantiza el peso neto de cada envase.

<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas a tomar</b>
Diferente de	Limpieza deficiente de la llenadora y del área de trabajo	1. Malas operaciones en el proceso de limpieza	- Contaminación microbiológica del producto	- Capacitar a los operarios sobre la instrucción de limpieza.
	Problema en el peso neto del producto	1. Fallo en la báscula y/o en su automatización.	- Inconformidad de los clientes.  - Derrame del producto.	- Revisión de la automatización y comprobación de la báscula con periodicidad.

**Anexo 7: Resultados obtenidos del FMEA.**

**Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos (FMEA) para el Extractor E-1.**

Elementos	Descripción del Equipo	Modo de Fallo	Forma de detección del fallo	Efectos del Fallo	Medidas correctoras	Índice de gravedad
V-1	Control del agua a la entrada del extractor E-1	Válvula V-1 cerrada o atascada	No llegada del fluido al extractor E-1	No se recupera el aceite, afectando la producción de aceite esencial.	Verificar que la válvula esté funcionando correctamente.	3
B-1	Bombeo del agua al extractor E-1	No funciona la bomba B-1	No llegada del fluido al extractor E-1	No se recupera el aceite, afectando la producción de aceite esencial.	Revisión y mantenimiento preventivo de la bomba B-1, cambiarla de ser necesario.	3
V-2	Control del aire comprimido a la entrada del extractor E-1	Válvula V-2 cerrada o atascada.	Mal funcionamiento del equipo, al no realizar el movimiento las copas.	No ocurre la extracción del jugo.	Verificar que la válvula V-2 esté funcionando correctamente.	3
VR-1	Encargado de reducir la presión de aire de 10 bar a 6 bar	La válvula VR-1 no está realizando su función	Descontrol en el recorrido de las copas, provocando fuertes vibraciones.	Rotura de las copas y cuchillas, que pueden ser expulsadas por el equipo y afectar al personal cercano al área.	-Cerrar la válvula V-2, luego detener el compresor C-1. -Revisión de la válvula VR-1, cambiarla de ser necesario.	4
E-1	Encargado de extraer el jugo de la fruta.	No se le extrae todo el jugo posible a la fruta	Calculo de la eficiencia del equipo.	Pérdidas de producción.	Las copas se encuentran muy elevadas.	2

Anexo 7. Continuación.

**Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos (FMEA) para el Tamizador Tam-1.**

<b>Elementos</b>	<b>Descripción del Equipo</b>	<b>Modo de Fallo</b>	<b>Forma de detección del fallo</b>	<b>Efectos del Fallo</b>	<b>Medidas correctoras</b>	<b>Índice de gravedad</b>
V-3	Control del aire comprimido a la entrada del Tamizador Tam-1.	Válvula V-3 cerrada o atascada.	No ocurre el tamizado.	Perdida elevada de jugo en los desechos sólidos.	Verificar el adecuado funcionamiento de la válvula V-3.	3
VR-2	Encargado de reducir la presión de aire de 10 bar a 3 bar	La válvula VR-2 no está realizando su función.	Presencia de pulpa en el jugo.	Perforación de la malla o filtro.	Verificar el buen funcionamiento de VR-2, cambiar de ser necesario.	3
Tam-1	Encargado de tamizar el jugo para disminuir el nivel de pulpa.	Tamizador muy apretado	Análisis de fibra rápida.	Provoca el paso de pulpa no deseada.	Ajustar el tamizador a una presión adecuada, apoyándose en el resultado del análisis de fibra rápida	2
		Tamizado muy suelto	Análisis de fibra rápida.	Perdida de jugo en los desechos sólidos.	Ajustar el tamizador a una presión adecuada, apoyándose en el resultado del análisis de fibra rápida.	2

Anexo 7. Continuación.

**Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos (FMEA) para el Evaporador ET-1.**

<b>Elementos</b>	<b>Descripción del Equipo</b>	<b>Modo de Fallo</b>	<b>Forma de detección del fallo</b>	<b>Efectos del Fallo</b>	<b>Medidas correctoras</b>	<b>Índice de gravedad</b>
V-4	Control del jugo a la entrada del Evaporador ET-1	Válvula cerrada o atascada	No entra jugo al evaporador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdidas de energía en forma de vapor.</li> <li>- Provoca daños al equipo por sobrecalentamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detener el suministro de vapor.</li> <li>- Verificar el buen funcionamiento de la válvula.</li> </ul>	3
B-2	Bombeo del jugo al evaporador ET-1	No funciona la bomba B-2	No llegada del fluido al Evaporador ET-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdidas de energía en forma de vapor.</li> <li>- Provoca daños al equipo por sobrecalentamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detener el suministro de vapor.</li> <li>- Verificar el buen funcionamiento de la bomba B-2.</li> </ul>	3
V-5	Control del agua de torre a la entrada del Evaporador ET-1.	Válvula cerrada o atascada.	No entra agua de torre al Evaporador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se recupera la esencia del jugo.</li> <li>- Pérdida de las propiedades organolépticas del jugo.</li> </ul>	Verificar que la válvula V-5 funcione bien	2
B-3	Bombeo del agua de torre al evaporador ET-1	No funciona la bomba B-3	No llegada del fluido al Evaporador ET-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se recupera la esencia del jugo.</li> <li>- Pérdida de las propiedades organolépticas del jugo.</li> <li>- No se logra la concentración deseada.</li> </ul>	Verificar que la bomba B-3 funcione bien.	2

V-6	Control del vapor suministrado o al evaporador ET-1	Válvula V-6 cerrada o atascada	Ausencia de vapor en el evaporador.	No se les extrae el agua al jugo para lograr la concentración deseada	Verificar que la válvula V-6 se encuentre en la posición correcta.	3
VA-1	Control del amoníaco suministrado o al evaporador .	Válvula cerrada o atascada.	Salida de jugo demasiado caliente.	-No se recupera la esencia del jugo.  -Perdida de las propiedades organolépticas del jugo.  -No se puede envasar el producto a altas temperaturas.	Verificar que la válvula VA-1 funcione bien.	3
ET-1	Concentrar el jugo, aplicando la reducción de la temperatura de ebullición por vacío.	Ausencia de la hermeticidad del equipo.	-Perdidas de vacío.  -Aparición de grietas en la superficie del equipo	No ocurre la concentración requerida.	-Apretar bien las juntas, preses y accesorios del equipo.	3

Anexo 7. Continuación.

**Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos (FMEA) en el Generador de Vapor GV-1.**

Elementos	Descripción del Equipo	Modo de Fallo	Forma de detección del fallo	Efectos del Fallo	Medidas correctoras	Índice de gravedad
V-7	Control del agua tratada a la entrada del GV-1.	Válvula V-7 cerrada o atascada.	Nivel del líquido.	-Los tubos presentan distorsiones.  - Puede provocar la explosión de la caldera.	-Apagar la caldera de inmediato y esperar a que se enfríe.  -Verificar que la válvula funcione bien.	4
B-4	Bombeo del agua tratada a la entrada del GV-1.	No funciona la bomba B-4.	Nivel del líquido.	-Los tubos presentan distorsiones.  - Puede provocar la explosión de la caldera.	-Apagar la caldera de inmediato y esperar a que se enfríe.  -Verificar el buen trabajo de la bomba B-4, cambiarla de ser necesario.	4
GV-1	Generar energía en forma de vapor.	Nivel del agua muy elevado.	Nivel del líquido.	Provoca arrastre de líquido en el vapor.	Disminuir el flujo de agua.	2
		Nivel del agua muy bajo.	Nivel del líquido.	-Se dañan los tubos que no se encuentran sumergidos en el agua.  - Puede provocar la explosión de la caldera.	-Parar el suministro de combustible al quemador.  -Esperar a que se enfríen los tubos.	4

**Análisis de Modalidades de Fallas y sus Efectos (FMEA) en el sistema de refrigeración SR-1.**

<b>Elementos</b>	<b>Descripción del Equipo</b>	<b>Modo de Fallo</b>	<b>Forma de detección del fallo</b>	<b>Efectos del Fallo</b>	<b>Medidas correctoras</b>	<b>Índice de gravedad</b>
VA-1	Control del suministro de amoníaco al ET-1	Escape de amoníaco por las juntas de la válvula VA-1.	Olor característico del amoníaco.	Perjudica la salud del personal cercano al escape.	Detectar el salidero y corregirlo.	4
VA-2	Control del suministro de amoníaco al T-3.	Escape de amoníaco por las juntas de la válvula.	Olor característico del amoníaco.	Perjudica la salud del personal cercano al escape.	Detectar el salidero y corregirlo.	4
ET-1	Concentrar el jugo, aplicando la reducción de la temperatura de ebullición por vacío.	Rotura de los conductos por donde pasa el amoníaco.	Olor característico del amoníaco.	Contaminación del jugo por contacto con el amoníaco.  -Perjudica la salud del personal cercano al escape.	Cerrar la válvula VA-1.	4
T-3	Tanque para estandarizar el jugo, el mismo presenta un enchaquetado por donde circula amoníaco como refrigerante.	Rotura del enchaquetado.	Olor característico del amoníaco.	Perjudica la salud del personal cercano al escape.	Cerrar la válvula VA-2.	4