



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Aplicación AMEF en la unidad de licuación de cloro para
disminuir paradas no programadas en una Planta de
producción de cloro y soda”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentada por:

María Fernanda Desiderio Moreira

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

AGRADECIMIENTO

A mi director de proyecto, PhD Marcos Buestán, a mi equipo de trabajo, en especial a Fernando, Christian, Gregorio por su total apoyo y compromiso en lograr los objetivos de este trabajo, a mi esposo, Nicolás, por su paciencia y su acompañamiento a lo largo de este trayecto.

DEDICATORIA

Para ti Nicolás y por nuestro
futuro hijo.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Marcos Buestán, Ph.D.
Director del proyecto

María Fernanda LópezMSc.
Vocal

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

María Fernanda Desiderio
Moreira

RESUMEN

El siguiente proyecto tuvo como finalidad reducir las paradas no programadas de la unidad de licuación a 0 horas basado en el análisis de modo y efecto de falla. De acuerdo con este análisis se buscó aumentar la confiabilidad de los equipos de planta, mejorar la planificación de mantenimiento preventivo y a su vez capacitar al personal en las buenas prácticas de operación y cuidado que requiera la unidad. En el Ecuador, la industria química de producción de cloro e hidróxido de sodio es esencial para los procesos de limpieza y desinfección del agua, a su vez para la elaboración de productos de uso personal diario. Con la metodología utilizada que incluyó el levantamiento de información de todos los equipos de la unidad, desarrollo del AMEF, la determinación de equipos críticos e implementación de mejoras se logró alcanzar una reducción de horas de paradas no programadas del 63% desde diciembre del 2020 hasta agosto 2021.

SUMMARY

The following project aimed to reduce unscheduled shutdowns of the chlorine liquefaction unit to 0 hours based on the failure mode and effect analysis. According to this analysis, it was sought to increase the reliability of plant equipment, improve preventive maintenance planning and train personnel in good operating and care practices required by the unit. In Ecuador, the chemical industry of chlorine is essential for water cleaning and disinfection processes, also for the elaboration of products for daily personal use. With the used of the following methodology, which included the gathering of information from all the equipment of the unit, development of the FMEA, the determination of critical equipment and implementation of improvements, it was possible to achieve a reduction of hours of unscheduled stops of 63% from December 2020 to August 2021.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	6
SUMMARY.....	6
ÍNDICE GENERAL.....	7
SIMBOLOGÍA.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
CAPÍTULO 1.....	11
1.1 Generalidades.....	11
1.1.1. Área de estudio.....	11
1.1.2. Descripción del proceso.....	11
1.2. Planteamiento del problema.....	14
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. Metodología.....	17
1.5. Análisis de modo y efecto de fallas.....	18
CAPÍTULO 2.....	22
2. Desarrollo de la metodología.....	22
2.1. Levantamiento de información.....	22
2.2. Desarrollo de AMEF de proceso.....	24
2.3. Equipos críticos.....	34
2.4. Implementación de mejoras.....	36
CAPITULO 3.....	52
3.1. Resultados.....	52
CAPITULO 4.....	56
4.1. Conclusión.....	56
4.2. Recomendaciones.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
Kg	kilogramos
TON	Toneladas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso de licuación - recorrido del cloro.....	12
Figura 2. Diagrama de sistema frigorífico para licuación de cloro – lado freón.....	13
Figura 3. Horas de paradas de licuación por mes en el año 2020.....	14
Figura 4 Línea de tiempo de porcentaje de paradas no programadas	16
Figura 5. Road map de la metodología a aplicar para reducir las paradas no programadas en la unidad de licuación.....	18
Figura 6 Ejemplo de clasificación del valor de gravedad para el AMEF	19
Figura 7. Ejemplo de clasificación del valor de ocurrencia para el AMEF.....	20
Figura 8. Ejemplo de clasificación del valor de detección para el AMEF	20
Figura 9. Bomba de cloro líquido en operación.....	38
Figura 10. Instalación de bota que retiene las virutas de hierro antes de que sean succionadas por la bomba de cloro líquido	38
Figura 11. Pantallas de sala de control antes de habilitar los enclavamientos de P-405	39
Figura 12. Manómetro con switch de presión instalado en la descarga de la bomba ..	39
Figura 13. Pantallas de sala de control después de habilitar el trip por baja presión de descarga.....	40
Figura 14. Sensor de temperatura y vibración instalado	40
Figura 15. Aspirador de cloro K-401 integrado por motor, bandas y voluta	41
Figura 16. Visualización de sensores de temperatura en la cajera y entrada de aire al sello	41
Figura 17. Cambio de rotámetro por uno de mayor flujo	43
Figura 18. Consumo de bandas para el aspirador K-401 en SAP	44
Figura 19. Tanque T-406 que recibe el cloro líquido que se genera en el licuador.....	45
Figura 20. Visualización de sensores de nivel bajo diferentes principios de medición.	46
Figura 21. Diferencias de la medición de nivel entre los dos sensores.	47
Figura 22. Cajetín que mantiene libre de humedad el computador UNISAB del compresor de freón Sabroe.	47
Figura 23. Licuador de cloro/ Evaporador de freón E-405.....	49
Figura 24. Instalación de ojos de buey para visualización de nivel de freón líquido en el evaporador	50
Figura 25. Horas de paradas de licuación por mes en el año 2021.....	52
Figura 26 Porcentaje de paradas de planta por mes, año 2020-2021	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalle de paradas de unidad de licuación por fallo	14
Tabla 2. Porcentaje de paradas de planta no programadas evaluada por motivo	15
Tabla 3. Descripción de equipos del lado cloro de la unidad de licuación	22
Tabla 4. Descripción de los equipos del lado Freón de la unidad de licuación.	23
Tabla 5. Evaluación de la gravedad o severidad del fallo para el proceso de licuación	24
Tabla 6. Evaluación de la ocurrencia del fallo para el proceso de licuación	25
Tabla 7. Evaluación de detección de fallo de la unidad de licuación	25
Tabla 8. Desarrollo de AMEF en la unidad de licuación	27
Tabla 9. Resumen de modos y efectos de falla con mayor número NPR.....	34
Tabla 10. Tabla de criterios para establecer las consecuencias en la matriz de criticidad	35
Tabla 11. Matriz de criticidad	35
Tabla 12. Resumen de mejoras implementadas	51
Tabla 13. Detalle de paradas de unidad de licuación por fallo	52
Tabla 14. Comparación de porcentajes de parada de planta periodo 2020-2021.....	54
Tabla 15. Cuadro comparativo de horas de paradas no programadas 2020-2021	55

CAPÍTULO 1

1.1 Generalidades

1.1.1. Área de estudio

En una Planta Química se obtienen los siguientes materiales por medio de electrólisis de salmuera: Cloro gas húmedo, hidróxido de sodio 32%, Hidrógeno y salmuera desgastada. Estos materiales se combinan mediante diferentes operaciones unitarias para obtener productos finales tales como: Hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico 32%, cloro líquido y más hidróxido de sodio.

El hipoclorito de sodio es obtenido mediante la reacción exotérmica del cloro gas húmedo y el hidróxido de sodio diluido. La síntesis de ácido clorhídrico se obtiene a partir de la combustión de hidrógeno y cloro gas húmedo para luego ser absorbido por agua desmineralizada. Para obtener el cloro líquido es necesario que el cloro gas húmedo pase por un proceso de secado con ácido sulfúrico y luego a la unidad de licuación donde cambiará su estado bajando su temperatura a una presión determinada. Todos estos productos finales son consumidores de cloro gas húmedo.

Actualmente se producen 21,5 TON de cloro gas húmedo a una carga máxima de 16 KA que son repartidas entre los diferentes consumidores de la siguiente manera: 10 TON en hipoclorito, 3,5 TON en ácido clorhídrico y 8 TON en cloro líquido y a esa misma carga se obtienen aproximadamente 76 TON de hidróxido de sodio al 32%. Entre todos los procesos la unidad de licuación de cloro es aquella parte de planta Cloro Soda que limita la capacidad de producción de los otros materiales cuando para debido a que obliga a bajar carga y a producir menos hidróxido de sodio, sustancia necesaria para la elaboración de diferentes productos de uso diario como: jabones, desinfectantes, etc.

Cuando la unidad de licuación se para por falla en uno de sus equipos, las 8,5 TON de cloro gas húmedo no tendrían donde consumirse por lo que serían enviadas a la unidad de hipoclorito de sodio. Sin embargo, esta última unidad se limita a consumir solamente 12 TON de cloro gas húmedo por lo que enviar 6,5 TON extras provocaría una sobrecarga en el sistema. Si esto sucede no hay más opción que bajar carga del electrolizador para producir menos cloro gas húmedo y por ende menos hidróxido de sodio.

1.1.2. Descripción del proceso

El cloro gas húmedo obtenido por electrólisis pasa por un proceso de secado con ácido sulfúrico antes de ingresar a la unidad de licuación. Luego de ese proceso, el cloro fluye por la válvula PV-402 y eleva su presión luego de que es aspirado por el soplador de cloro K-401, como se muestra en la figura 1. Al comprimirse el cloro gas seco se calienta por lo que será necesario el intercambiador E-404 para extraer su calor, una parte del cloro recirculará hacia el aspirador para mantenerlo refrigerado y otra parte seguirá su

camino hacia el licuador E-405 donde el cloro gas intercambiará su calor con el sistema de refrigeración que utiliza freón para cambiar su estado a líquido. Como el proceso no es 100% eficiente, una parte del cloro gas retornará a la unidad de hipoclorito. Una vez obtenido el cloro líquido este será almacenado en el tanque T-406 provisionalmente y será enviado por control de nivel hacia un Isotank mediante la bomba de alta presión P-405. El producto final debe ser calentado a cierta temperatura para su almacenamiento y posterior envasado por eso antes de llegar al isotank es necesario que pase por otro intercambiador de calor, el E-407/E-408 para calentarlo. Una vez en almacenamiento este será utilizado para llenar cilindros ya sea de 1000 kg, 907 kg o 68 kg.

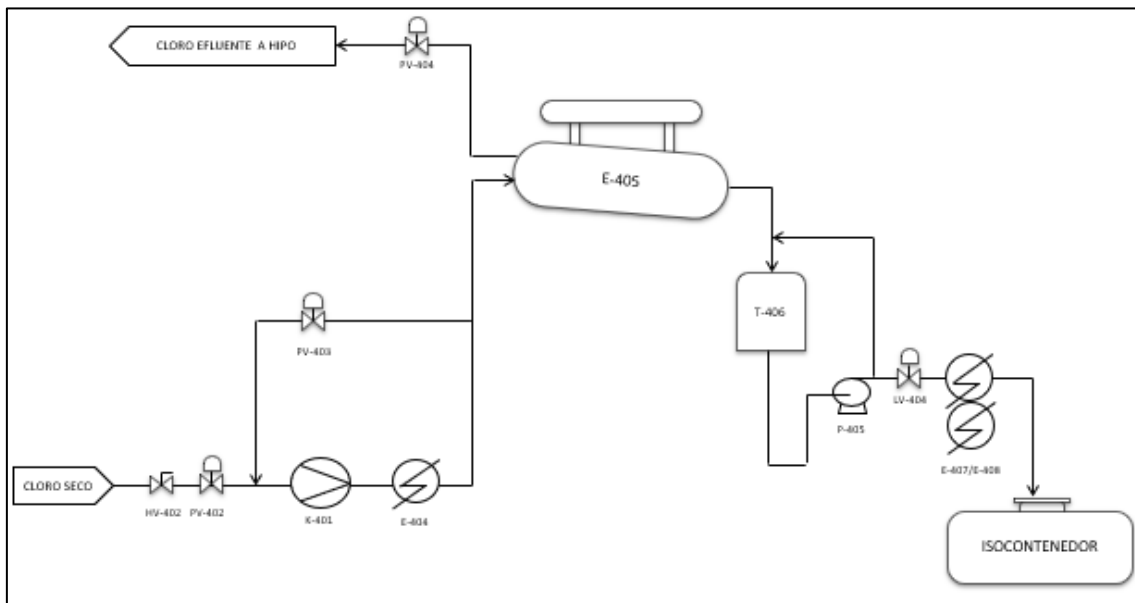


Figura 1. Diagrama de proceso de licuación - recorrido del cloro

Por otro lado, la licuación ocurre gracias al sistema de refrigeración, como se muestra en la figura 2, debido a que el freón es el que permite absorber el calor del cloro para que este pueda cambiar su estado a líquido. El sistema de freón se compone de un compresor, equipo que permite que se eleve su presión y temperatura, luego es enviado hacia un condensador que utiliza agua de enfriamiento para bajar la temperatura del freón y cambiar su estado a líquido. El freón líquido viaja por tubería hacia el evaporador, que en este caso es el E-405 donde se licua el cloro, pero antes de llegar debe disminuir su presión con la ayuda de una válvula de expansión. En el E-405 su temperatura se eleva al absorber el calor del cloro y regresa al compresor en estado de gas.

Todos estos equipos forman parte del sistema de licuación y permiten mantener la planta operativa a la máxima carga. Cada equipo tiene su función determinada por lo que la disponibilidad operativa es esencial. Sin el aspirador K-401 no será posible elevar la presión de cloro para que este pueda llegar a licuarse, sin el intercambiador E-404 no será posible el enfriamiento del aspirador por medio de la recirculación y tampoco podrá llegar a la temperatura adecuada para que cambie su estado a líquido en el evaporador. Sin la bomba P-405 no será posible bajar el nivel del tanque reservorio T-406 y no se llenará el isotank. Como se explica, si alguno de estos equipos sufre un desperfecto será obligatorio hacer el mantenimiento correctivo.

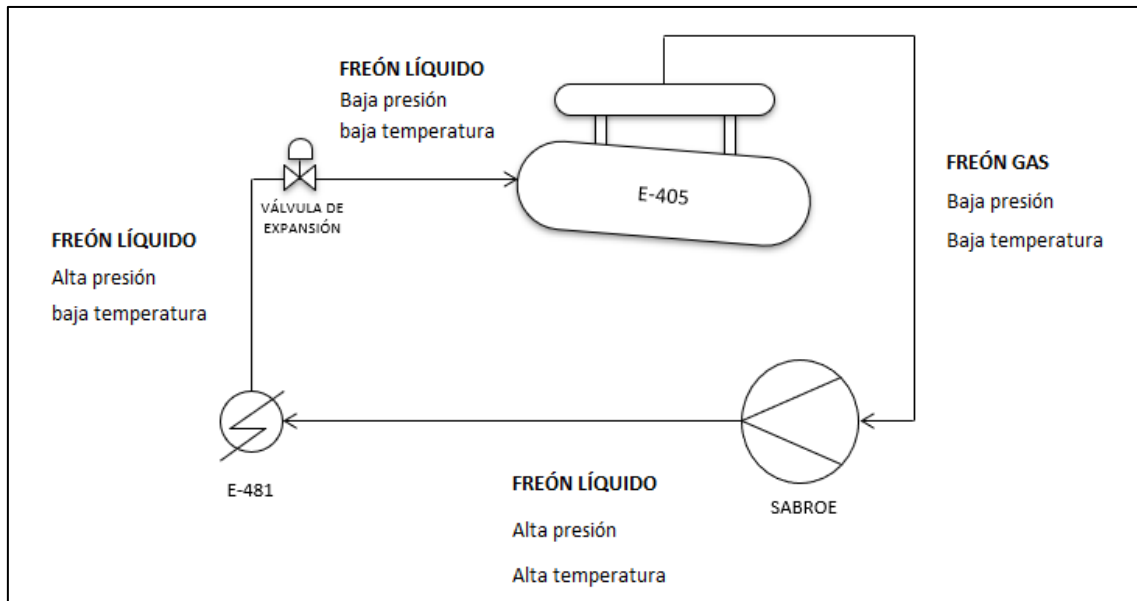


Figura 2. Diagrama de sistema frigorífico para licuación de cloro – lado freón

El daño en alguno de estos equipos, como se menciona anteriormente, supondría perjuicios de diferentes magnitudes para la planta ya que se tendría que parar la unidad para reparación inmediata y esto implicaría bajar carga del electrolizador lo cual perjudicaría el índice de producción de hidróxido de sodio. La operación de la unidad de hipoclorito se vuelve inestable debido a que estaría operando a su capacidad máxima y frenaría otras actividades que se realizan en planta como el llenado de cilindros de cloro. Para que la planta opere normalmente es necesario mantener una carga estable.

1.2. Planteamiento del problema

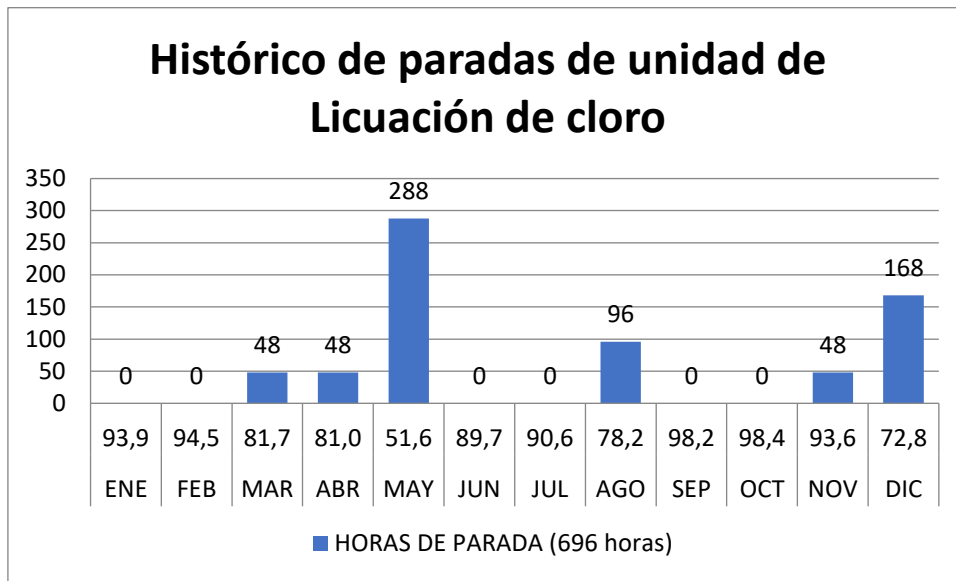


Figura 1. Horas de paradas de licuación por mes en el año 2020
Planta Química, Data link departamento de producción

Tabla 1. Detalle de paradas de unidad de licuación por fallo

RAZÓN DE PARADA	%	HRS PARADAS
<i>LICUACIÓN</i>	12,2%	84:47:00
<i>MANTENIMIENTO GENERAL</i>	30,9%	215:17:59
<i>ELECTROLIZADOR</i>	52,5%	365:08:00
<i>CORTES EXTERNOS, FALLAS MENORES</i>	4,5%	31:19:12
	100%	696:32:11

Planta Química, Departamento de mantenimiento

Los datos de las horas de las paradas de la unidad de licuación se obtienen del histórico (Data link de Planta Química) de encendido del compresor Sabroe, debido a que cuando para esta unidad necesariamente para todo el proceso.

Durante el año 2020, las paradas de la unidad de licuación suman aproximadamente 696 horas (figura 3), de ese total el 12,3% fueron problemas causados por los equipos de ese proceso. El 31,2% de esas horas fueron aquellas que están programadas para mantenimiento general anual. El 53% fueron paradas del electrolizador por problemas en el tratamiento de la salmuera y por cambio de membranas debido al tiempo de operación. El 4,5% restante fueron por cortes de energía externos y fallos menores.

El 12,3% representan 85 horas de paradas no programadas en la unidad de licuación que provocaron una pérdida de producción de 31,5 TON de cloro líquido y 66 TON de

hidróxido de sodio por operación a baja carga. Esto da como resultado una pérdida de \$71.908,59 solamente para dar las condiciones de trabajo sin contar el mantenimiento correctivo que a su vez fue de \$15.350. En total para el año 2020 hubo un total de pérdidas de capital de \$88.000 por la no producción de cloro líquido e hidróxido de sodio y el respectivo mantenimiento. De enero a mayo del 2021, el costo de mantenimiento correctivo debido a fallos de la unidad va sumando \$16.838 debido a reparaciones de bombas de cloro P-405, revisión de instrumentos, fugas de cloro en las líneas entre otros problemas menores.

Es de vital importancia para la empresa que la unidad de licuación se mantenga operativa para cumplir con la demanda de hidróxido de sodio actual y por la seguridad del proceso. Dicha unidad es la que permite mantener la máxima carga del electrolizador para producir las 76 TON de hidróxido de sodio diarias necesarias para el consumo en el proceso y para la venta al cliente final. Adicional, la empresa tiene entre sus objetivos mantener menos del 2,5% o 18 horas máximas de paradas no programadas mensuales y el cuidado de la salud de sus trabajadores.

Los eventos ocurridos en el año 2020 se resumen en el siguiente cuadro (Tabla 2), esta información fu solicitada al área de mantenimiento que es el área responsable de llevar el control de las horas de paradas no programadas ya sea por mantenimiento o por instrumentación.

Tabla 2. Porcentaje de paradas de planta no programadas evaluada por motivo

PARADAS NO PROGRAMADAS CLSO 2020 [2,5%-18h]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Días [#]</i>	31,0	29,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
<i>Electromecánico - Licuación [h]</i>	0,0	0,0	8,5	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	17,6
<i>Instrumentación - Licuación [h]</i>	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Paradas Varias [h]</i>	0,9	6,4	39,7	11,3	23,9	5,8	9,1	1,6	0,0	4,0	20,8	37,7
<i>Total Planta parada (%)</i>	0,1	0,9	7,0	1,6	4,0	0,8	1,2	0,2	0,0	0,5	4,0	7,4

Planta Química, Departamento de mantenimiento

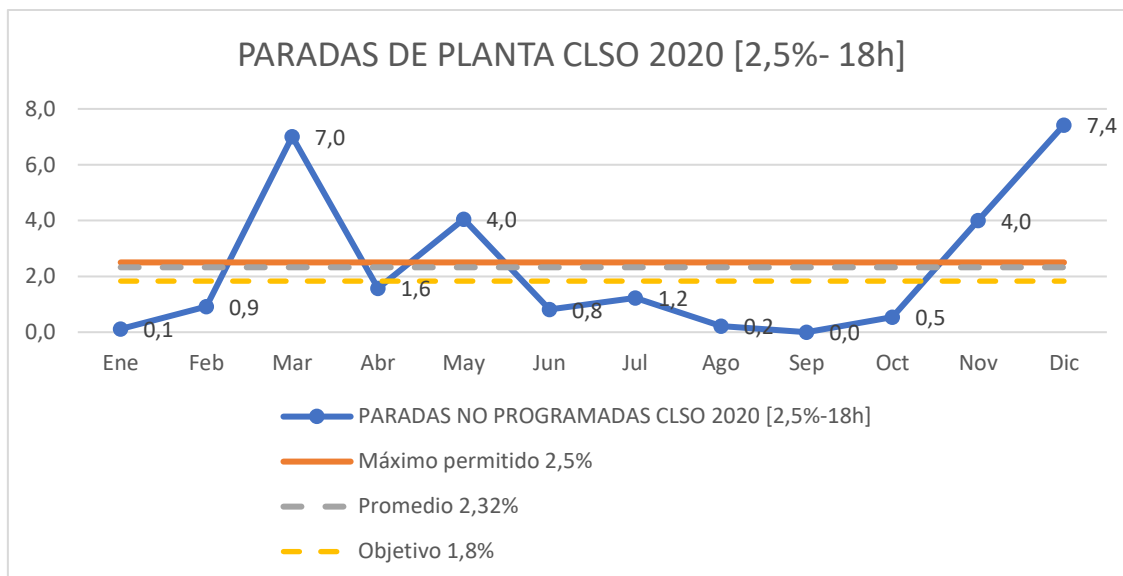


Figura 2 Línea de tiempo de porcentaje de paradas no programadas Planta química, Departamento de mantenimiento.

El límite de horas de paradas de planta, que incluyen la parada de la unidad de licuación, NO programadas establecido por la empresa es de máximo 2,5%, es decir, 18 horas mensuales, valor que es declarado ante el sistema de gestión ISO 9001-2015. Como se observa en la línea de tiempo (figura 4) existen valores por encima del promedio exigido en los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre. El promedio anual de paradas no programadas del año 2020 fue de 2,3%, con este proyecto se plantea reducir hasta un 1,8% de las horas de paradas no programadas debido a fallos en la unidad de licuación.

Como se ha descrito en el proceso, es necesario aclarar que estos datos pertenecen a las paradas de planta general que por ende paran la unidad de licuación. Las paradas de licuación no siempre terminan en una parada de planta general sino también en una disminución de carga del electrolizador. Estas dos situaciones representan igual una pérdida de producción para la empresa equivalente a horas de parada general.

Otra de las razones por la cual es de suma importancia para la empresa reducir las horas de parada de planta no programadas de la unidad de licuación es el riesgo que implica tener el sistema inundado ya sea con cloro gas o cloro líquido. El cloro es una sustancia gaseosa muy tóxica a mínimas concentraciones por lo cual no es seguro que haya fugas de este al ambiente. Si los equipos llegarán a fallar es muy probable que se rompan los sellos de agua que controlan la presión diferencial del electrolizador y haya fuga de gas al ambiente debido a que la cantidad de cloro que no se envía a licuación debe ser absorbido rápidamente por los otros procesos de hipoclorito y ácido clorhídrico que como antes se menciona trabajan ya al límite de su capacidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Reducir el tiempo de paradas no programadas implementando el análisis de modo y efecto de falla de los equipos de la unidad de licuación a cero horas y, por tanto, reducir el porcentaje de paradas no programadas en un 20% hasta el año 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Levantar información de equipos y proceso de acuerdo con históricos de operación
- Desarrollar AMEF e identificar los equipos y procesos críticos de la unidad
- Mejorar la disponibilidad de los equipos por medio de la gestión de mantenimiento y las buenas prácticas de operación.

1.4. Metodología

La unidad de licuación cloro es aquella parte de planta Cloro Soda que al estar fuera de servicio limita la capacidad de producción de los otros materiales. Por esa razón que uno de los principales enfoques de este trabajo se basa en la gestión de mantenimiento y operación de los equipos involucrados en la unidad.

Se establece la metodología como se muestra en la figura 5 que inicia con el levantamiento de los datos e información de los equipos involucrados y como estos están operando actualmente para luego desarrollar el análisis de modo y efecto de falla en el proceso, el cual se explicará más adelante. Esto nos ayudará a identificar los equipos que representan la mayor pérdida de producción relacionada a las toneladas de hidróxido de sodio si estos llegaran a fallar.

Reconocidos los equipos críticos y mediante la formación de equipos de trabajo multidisciplinarios se deberá realizar un análisis de causa-raíz y establecer los motivos por los cuales se dan las paradas en la unidad y las posibles soluciones que permitan aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Se identificará la causa – raíz de los modos de fallos por medio del análisis de los 5 porqués. Este análisis permitirá obtener la información adecuada para mejorar la situación actual y esta pueda ser llevada a la excelencia operativa. Se determina la causa raíz de los paros no programados y se definen acciones correctivas para luego comprobar su eficacia. Adicional, se deja constancia de las observaciones encontradas por escrito para que la empresa tenga la información en el momento oportuno. (Parra C., 2021)

Una vez obtenidas las causas principales de los fallos en la unidad de licuación, se reunirá el equipo de trabajo, áreas de mantenimiento y producción, para la elaboración de la lluvia de ideas para establecimiento de mejoras. Las cuáles serán implementadas una vez que el personal de producción sea capacitado para la correcta operación de los equipos y así estén pendientes de cualquier condición subestándar.

Las mejoras implementadas en la gestión de mantenimiento y operación serán medidas con el número de horas de paradas no programadas durante el periodo 2021-2022.

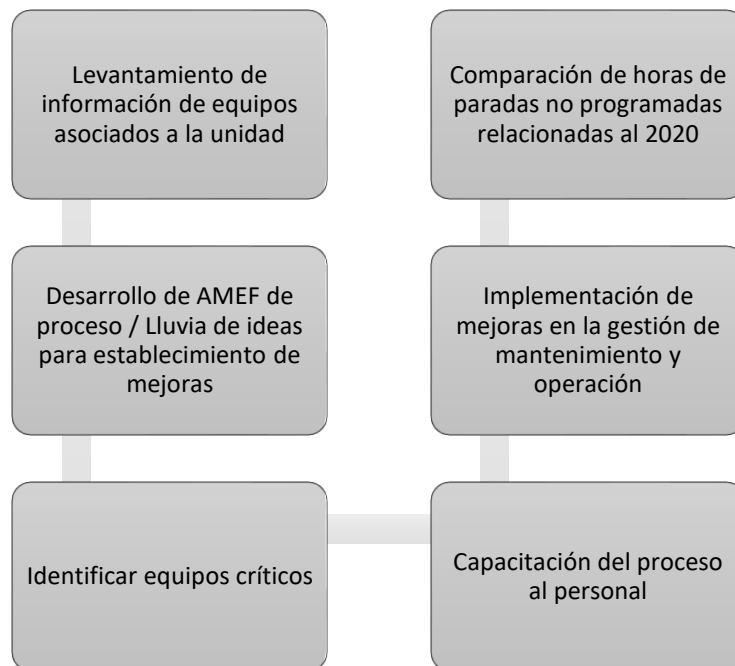


Figura 3. Road map de la metodología a aplicar para reducir las paradas no programadas en la unidad de licuación.

1.5. Análisis de modo y efecto de fallas

El análisis de modo y efecto de fallas aplicado al proceso ayuda a entender de manera más exhaustiva los modos de fallos, sus causas y efectos. Estos permiten planificar las tareas de mantenimiento de tal manera que aumente la confiabilidad del sistema y reduzcan considerablemente las paradas no programadas de la unidad. (Aguilar-Otero J., 2010)

El AMEF es aquel proceso que permite identificar los problemas antes de que sucedan, asignando valores a la severidad, recurrencia y capacidad de ser detectados por controles ya establecidos y a su vez determinar planes de acción para evitarlos. (Martínez, 2004)

Es un procedimiento estructurado que identifica y previene tanto como sea posible todos los modos de fallas que tiene un equipo o proceso. Para obtener la información del análisis es necesario seguir los siguientes pasos de implementación:

- Identificar todas las funciones de los equipos del proceso de licuación que generan mayor impacto económico.
- Identificar los modos de falla potencial del equipo en estudio.

- Identificar los posibles efectos que conlleva ese modo de falla.
- Identificar las posibles soluciones para que la falla no ocurra.
- Especificar la clasificación de gravedad, ocurrencia y número de prioridad de riesgo en el proceso.
- Proponer mejoras para cumplir con el objetivo de eliminar los paros no programados de la unidad de licuación de cloro.

El valor de gravedad calcula que tanto impacta o que tan intenso es el efecto del fallo en el resultado final del proceso. Se califica del 1 al 10 en donde 1 representa el menor efecto posible y 10 como fallas y efectos fatales.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	EJEMPLO
No resulta/ Ninguno	1	No hay efecto en la calidad
Muy Menor	2	Calidad con características que no perturban
Menor	3	Pequeños consecuencias a la calidad
Muy Bajo	4	Pequeños daños
Bajo	5	Fallos que resultan en algunas insatisfacciones
Moderado	6	Fallos que ocasionan inconvenientes
Alto	7	Calidad insatisfactoria
Muy Alto	8	Calidad muy insatisfactoria
Peligroso con Advertencias	9	Causas que potencian malos efectos
Peligroso sin Advertencias	10	Modos de fallas y efectos que son fatales para la calidad

Figura 6 Ejemplo de clasificación del valor de gravedad para el AMEF
(Salazar, Mosquera, Suarez, & Mendoza)

El valor de ocurrencia es la posibilidad de que se dé la causa por la cual una falla ocurra durante cierto periodo de tiempo. Este valor también se calcula mediante una escala del 1 al 10, siendo 1 que el evento no ocurra y 10 que el evento sea muy seguro de dar falla.

Tabla 2. Rangos de ocurrencia.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	CRITERIO
Nunca	1	Historial de no fracaso
Ocasionalmente	2	Posibles fallas muy raras
Muy poco	3	La posibilidad de falla es muy poco
Poco de todo	4	La calidad sufre molestias menores
Bajo	5	Algunas posibles fallas
Medio	6	Se da la posibilidad de fallo
Poco alto	7	La posibilidad de fracaso es suficientemente alta
Alto	8	Numero de fallas alto
Muy alto	9	El número de las posibilidades de fallo es extremadamente alto
Casi seguro	10	El fracaso es casi seguro

Figura 7. Ejemplo de clasificación del valor de ocurrencia para el AMEF

(Salazar, Mosquera, Suarez, & Mendoza)

El valor de detección es aquel que identifica los controles para que el modo de falla o la causa del fallo no se dé. El rango de este valor también se lo establece del 1 al 10 como 1, el control está definitivamente detectado, y 10 como no existen controles que permitan detener el modo de falla.

Tabla 3. Rangos de detección.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	CRITERIO
Casi seguro	1	Controles definitivamente detectados
Muy alto	2	Control casi detectado
Alto	3	Controles con mayor posibilidad de detectar
Moderadamente alto	4	Detección de los controles suficientemente altos
Moderado	5	Detección de los controles moderadamente altos
Bajo	6	Detección de los controles bajo
Muy bajo	7	Detección de los controles son muy bajas
Remoto	8	Detección de los controles son muy pocas
Muy remoto	9	Los controles pueden no detectar
Imposible	10	Los controles ciertamente no detectan

Figura 8. Ejemplo de clasificación del valor de detección para el AMEF

(Salazar, Mosquera, Suarez, & Mendoza)

Luego de obtener los tres valores se procede al cálculo del número de prioridad de riesgo (RPN) que es el producto de la severidad, ocurrencia y detección. Las actividades con mayor número RPN representan aquellos equipos a los que se le debe dar mayor importancia para mejorar el proceso.

El AMEF permite evaluar eficaz y ampliamente cualquier proceso productivo para el desarrollo de la mejora continua, es por eso que la elección de esta metodología se hace de vital importancia para el proceso continuo de producción de cloro líquido y estabilidad de la planta química. (Salazar, Mosquera, Suarez, & Mendoza)

CAPÍTULO 2

2. Desarrollo de la metodología

2.1. Levantamiento de información

Como primer paso, se recolecta información sobre los equipos que componen la unidad de licuación y se describen sus funciones.

Lado Cloro

- Aspirador de cloro K-401
- Intercambiador de calor E-404
- Licuador de cloro E-405
- Tanque reservorio T-406
- Bomba de cloro líquido P-405
- Intercambiador de calor E-407/E-408
- Isocontenedor
- Válvulas de control PV-402/PV-403/PV-404/LV-404

Lado freón

- Compresor de freón
- Condensador de freón
- Válvula de expansión
- Evaporador de freón E-405

La función de cada uno de ellos se describe en las siguientes tablas:

Tabla 3. Descripción de equipos del lado cloro de la unidad de licuación

LADO CLORO		
Equipo	Función	¿Podría parar la unidad?
Aspirador de cloro K-401	Aspirar el cloro del electrolizador para la unidad de licuación y aumenta su presión para llegar a la temperatura de licuación.	Si, sin él no podría llegar cloro a la unidad
Intercambiador de calor E-404	Enfriar el cloro luego del aspirador para poder llegar a la temperatura adecuada de licuación.	Si el intercambiador tiene fuga de cloro o del lado agua, si será necesario parar planta.
Licuador de cloro E-405	Convierte el cloro gas en cloro líquido por medio del intercambio de calor con el refrigerante	Sin el no es posible realizar el cambio de estado del cloro de gas a líquido y por ende no tendríamos producto final
Tanque reservorio T-406	Almacena momentáneamente el cloro líquido	Si, depende del daño que presente.
Bomba de cloro líquido P-405	Transfiere el cloro líquido hacia el Isocontenedor	Si, porque es la que mantiene el nivel del tanque T-406, sin ella tendríamos que parar la unidad

Intercambiador de calor E-407/E-408	Aumenta la temperatura del cloro luego del Licuador para su almacenamiento final	No
Isocontenedor	Almacena el producto final para luego llevarlo a diferentes presentaciones	Si
Válvula de control PV-402	Permite el paso del cloro a la unidad de licuación y regula el flujo de consumo para mantener la presión del electrolizador estable	No
Válvula de control PV-403	Permite recircular parte del cloro enfriado en el intercambiador E-404 para mantener temperatura estable en el aspirador de cloro K-401	Si, si no abre no se podrá enfriar el aspirador de cloro
Válvula de control PV-404	Permite enviar cloro que no paso a estado líquido a la unidad de hipoclorito	No
Válvula de control LV-404	Permite controlar el nivel del tanque T-406 y enviar el cloro al isotanque	Si, sin ella no se controla el nivel del tanque de cloro líquido T-406

Tabla 4. Descripción de los equipos del lado Freón de la unidad de licuación.

LADO FREÓN		
Equipo	Función	Para planta
Compresor de freón	Comprimir el freón de tal manera que pueda llegar a su temperatura de condensación	Si, es el responsable del ciclo frigorífico del freón para poder absorber el calor del cloro gas
Condensador de freón	Condensa el freón comprimido y lo envía al evaporador	Si, licua el freón necesario para el evaporador
Válvula de expansión	Baja la presión del líquido para que este baje su temperatura en el evaporador	Si, expande el freón para que llegue a la temperatura adecuada de operación
Evaporador de freón	El freón intercambia calor de tal manera que este se calienta para enfriar el cloro hasta su punto de licuación	Si, intercambia calor con el cloro para poder cambiar su estado

Cada uno de estos equipos tiene una función determinada en el proceso de licuación de cloro y la importancia de que se mantengan operativos radica en la seguridad y estabilidad de planta ligado a pérdidas de producción y costos por mantenimiento correctivo.

Para realizar el AMEF es necesario indagar en los históricos de mantenimiento SAP donde se listan las fallas PM01 (correctivos) por equipo del año 2020 -2021:

Compresor Sabroe de Freón: 2 fallas por reparación de computadora UNISAB (control del equipo)

Aspirador de cloro K-401: 3 fallas por bandas rotas y fuga de cloro por sello

Líneas de freón: 2 fallas por fugas en diferentes partes de las líneas

Líneas de cloro: 4 fallas por fugas en líneas o bridas

Bomba de cloro P-405: 5 fallas por aspiración de sólidos, baja presión de descarga, equipo atorado

Tanque de cloro líquido T-406: 1 falla por instrumento de sensor de nivel

Las fugas de freón son manejables ya que no provocan una parada en la unidad de licuación, pero si baja la eficiencia del compresor ya que no habrá suficiente refrigerante que permita convertir el cloro gas a líquido. Las fugas de cloro son un peligro para el personal y conllevan a una parada inminente de la unidad. Las fugas de cloro gas no son iguales a las de cloro líquido, en volumen, el líquido es 460 veces el volumen del gas por lo que sería más perjudicial una fuga en del mismo.

Desde el año 2020, la bomba de cloro líquido P-405 es la que ha tenido mayor cantidad de paros no programados y es uno de los equipos más costosos en reemplazar. Una bomba nueva tiene un costo aproximado de \$30,000, mientras que el costo de reparación varía entre \$5,000 y \$15,000 según el daño detectado.

2.2. Desarrollo de AMEF de proceso

Para el desarrollo del análisis de modo y efecto de fallo se tomará en cuenta las siguientes tablas de evaluación de Gravedad, Ocurrencia y Detección de los posibles fallos de la unidad de licuación según lo investigado y compartido entre el equipo de mantenimiento y producción.

Tabla 5. Evaluación de la gravedad o severidad del fallo para el proceso de licuación

EVALUACIÓN DE LA GRAVEDAD O SEVERIDAD DEL FALLO		
GRAVEDAD	ESCALA	CRITERIO DE GRAVEDAD
MENOR	1	Escasa importancia, no influirá en el proceso. No parará la unidad.
	2	Fallo que se puede detectar y que puede ser reparado en las paradas de planta generales, no influirá en la producción.
BAJA	3	
MODERADA	4	Fallo que puede o no parar la unidad. Puede suponer ciertos gastos para eliminar el conflicto.
	5	
	6	
ALTA	7	Fallo grave que permite definir cuando va a ser necesaria la parada de la unidad. Gastos de reparación y no producción altos.
	8	
MUY ALTA	9	Fallo muy grave que aparece sin advertencia previa, conlleva una parada inminente de la unidad, gastos de reparación altos, y peligro de fuga de cloro al ambiente.
	10	

Tabla 6. Evaluación de la ocurrencia del fallo para el proceso de licuación

TABLA DE EVALUACIÓN DE OCURRENCIA DEL FALLO

PROBABILIDAD	ESCALA	CRITERIO DE OCURRENCIA
ESCASA	1	Esta establecido mtto predictivo, Experiencia muy remota, muy improbable que ocurra
	2	
BAJA	3	Esta establecido mtto preventivo y autocontrol, experiencia muy remota, improbable que ocurra
	4	
MEDIANA	5	Establecido mtto preventivo y auto control no eficaz, experiencias concurrentes
	6	
ALTA	7	No hay establecido autocontrol pero si preventivo no eficaz, experiencias concurrentes
	8	
MUY ALTA	9	No hay establecido mtto preventivo ni auto control, experiencias concurrentes
	10	

Tabla 7. Evaluación de detección de fallo de la unidad de licuación

TABLA DE EVALUACIÓN DE DETECCIÓN DEL FALLO

DETECCION	ESCALA	CRITERIO DE DETECCION
MUY ALTA	1	Controles seguros de detectar
	2	
ALTA	3	Los controles tienen una buena oportunidad de detectar
	4	
MODERADA	5	Los controles pueden detectar
	6	
BAJA	7	Los controles tienen poca oportunidad de detección
	8	
MUY BAJA	9	Los controles probablemente no detectarán
CASI IMPOSIBLE	10	Certeza absoluta de no detección

Se establece el siguiente equipo de trabajo conformado por:

Jefe de Planta Química

Ingeniero de producción: Ing. María Desiderio

Supervisor de mantenimiento

Supervisor de Instrumentación

Operador de mantenimiento

Trainee de producción

Para el desarrollo de los modos y efectos de fallas de los equipos de la unidad de licuación, se deja por escrito las causas definidas (tabla 8) por cada modo de fallo por medio de un intercambio de ideas y se firma el acta de reunión.

Tabla 8. Desarrollo de AMEF en la unidad de licuación

AMEF DE:			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							GERENCIA: Operaciones		INGENIERO: María Desiderio				
EQUIPO <input type="checkbox"/>	PROCESO <input checked="" type="checkbox"/>	DISEÑO <input type="checkbox"/>	AMEF No. 0001							DEPARTAMENTO: Producción CloroSoda		FECHA:				
PROVEEDOR AFECTADO		DESCRIPCIÓN	NOMBRE DEL PROCESO: Licuación de cloro							DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS: Mantenimiento / Producción		HOJA 1 DE 7				
DESCRIPCIÓN DE EQUIP	FUNCIÓN DEL EQUIPO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SITUACIÓN ACTUAL				ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	SITUACIÓN PRÓXIMA					
					ACCIONES ACTUALES	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN			NPR	ACCIONES ADOPTADAS	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
Aspirador de cloro K-401	Aumentar la presión del cloro que ingresa a la unidad de licuación.	Daño de las bandas que une el motor con el aspirador	Paro de la unidad de licuación	Mala instalación	Ninguno	6	5	4	120	Capacitación al personal de mantenimiento para correcta instalación de bandas	Sup. de mtto	Capacitación de proveedor externo para el personal de mantenimiento	6	1	1	6
				Cumplimiento de vida útil	Ninguno	6	2	3	36	Instalar Horómetros para realizar los cambios de forma preventiva	Sup. de mtto	Establecer cambios por horas de trabajo	6	1	1	6
				Desalineación por exceso de vibración	Revisión de vibración con proveedor externo	6	3	1	18	Revisión de vibración con equipos propios de planta de acuerdo al tiempo establecido	Sup. Producción	Establecer revisión de vibración mensual	6	1	1	6
		Daño en los rodamientos	Aumento de temperatura en los rodamientos de la caja	Desalineación de motor y voluta	Medición en línea de sensores de temperatura	4	2	1	8	Instalar Horómetros para realizar los cambios de forma preventiva	Dep. instrumentación	Establecer cambios por horas de trabajo	4	1	1	4
					Alineación de equipos con proveedor externo	6	2	1	12	Capacitación al personal de mantenimiento para correcta alineación	Op. de mtto	Capacitación de proveedor externo para el personal de mantenimiento	6	1	1	6
				Daño en el sello	Vida útil	8	2	8	128	Instalar Horómetros para realizar los cambios de forma preventiva	Dep. instrumentación	Establecer cambios por horas de trabajo	6	1	1	6
		Daño en el sello	Fuga de cloro al ambiente Degradación de aceite Daño de rodamientos	Falta de aire en el sello del sistema	Rotámetro de de aire instalado subdimensionado	9	3	5	135	Correcto dimensionamiento y cambio de rotámetro instalado	Dep. instrumentación / Dep. producción	Instalación de rotámetro y correcto flujo de aire seteado	6	1	2	12

AMEF DE:			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA						GERENCIA: Operaciones		INGENIERO: María Desiderio						
EQUIPO <input type="checkbox"/>	PROCESO <input checked="" type="checkbox"/>	DISEÑO <input type="checkbox"/>	AMEF No. 0001						DEPARTAMENTO: Producción CloroSoda		FECHA:						
PROVEEDOR AFECTADO		DESCRIPCIÓN	NOMBRE DEL PROCESO: Licuación de cloro						DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS: Mantenimiento / Producción		HOJA 2 DE 7						
DESCRIPCIÓN DEL EQUIP	FUNCIÓN DEL EQUIPO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SITUACIÓN ACTUAL				ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	SITUACIÓN PRÓXIMA						
					ACCIONES ACTUALES	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN			NPR	ACCIONES ADOPTADAS	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	
Aspirador de cloro K-401	Aspirar el cloro del electrolizador para la unidad y aumentar la presión del mismo para llegar a la temperatura de licuación.	Daño de polea de transmisión entre el motor y la voluta	Desgaste de bandas	Cumplimiento de vida útil	Ninguno	2	1	1	2	Revisión de último mto por histórico SAP	Sup. de mto	Cambio de polea cada 4 años	1	1	1	1	
				Corrosión	Control Visual	1	1	1	1	Recubrimiento con pintura epóxica que evite la corrosión	Op. de mto	Mantenimiento anual	1	1	1	1	
		Daño en sensores de vibración	Falsa Lectura	Daño en conexiones eléctricas	Ninguno	1	1	2	2	Revisión de conexiones electricas	Dep. mto	Mantenimiento anual	1	1	1	1	
			Daño en sensores de temperatura	Trip por alta temperatura que puede ser falsa lectura	Daño en conexiones electrónicas	Ninguno	5	1	2	10	Revisión de conexiones electrónicas	Dep. instrumentación	Mantenimiento anual	1	1	1	1
				Ambiente corrosivo	Ninguno	3	1	2	6	Recubrimiento plástico	Instrumentista	Cambio de plásticos mensual	1	1	1	1	
Intercambiador de calor E-404 Tipo: Casco (Agua helada) y tubo (cloro gas)	Enfriar el cloro luego del aspirador para poder llegar a la temperatura adecuada de licuación.	Pitting en tuberías internas dando lugar a la entrada del agua al lado de cloro	Entrada de humedad en las tuberías de acero	El cloro que entra no está totalmente seco	Ninguno	10	1	10	100	Medir humedad en el sistema.	Dep. instrumentación	Instalar Medidor de humedad en línea	5	1	1	5	
			Corrosión del sistema	Agua sin tratamiento químico que conlleva a la corrosión de las tuberías del intercambiador						Implementar tratamiento químico al agua helada para evitar la corrosión de los equipos	Dep. producción	Dosificación de producto químico adecuado para sistemas cerrados de agua					

AMEF DE:			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				GERENCIA: Operaciones		INGENIERO: María Desiderio							
EQUIPO <input type="checkbox"/>	PROCESO <input checked="" type="checkbox"/>	DESEÑO <input type="checkbox"/>	AMEF No. 0001				DEPARTAMENTO: Producción CloroSoda		FECHA:							
PROVEEDOR AFECTADO		DESCRIPCIÓN	NOMBRE DEL PROCESO: Licuación de cloro				DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS: Mantenimiento / Producción		HOJA 3 DE 7							
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	FUNCIÓN DEL EQUIPO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SITUACIÓN ACTUAL				ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	SITUACIÓN PRÓXIMA					
					ACCIONES ACTUALES	GRAVEDAD	OCURENCIA	DETECCIÓN			NPR	ACCIONES ADOPTADAS	GRAVEDAD	OCURENCIA	DETECCIÓN	NPR
Licuador de cloro E-405 / Evaporador de freón	Convierte el cloro gas en cloro líquido por medio del intercambio de calor con el refrigerante	Mal ajuste de bridas o empaques	Fuga de cloro al ambiente	Empaques mal colocados y bridas desajustadas	Inspección con solución de amoniaco	10	1	10	100	Ajuste de bridas por medio de torquímetro	Dep. mto	Revisión de ajuste de bridas y empaques en paradas de planta generales (Anual)	10	1	1	10
		Pittings en las tuberías que se conectan y salen del licuador	Fuga de cloro al ambiente	Humedad dentro del sistema de cloro	Ninguna	10	3	8	240	Cambio de tramos de tubería por tiempo de vida útil	Dep. mto	Cambio de tramos de tubería anual	5	2	3	30
Tanque reservorio de cloro líquido T-406	Almacena momentáneamente el cloro líquido	Pittings en las tuberías que se conectan y salen del tanque	Fuga de cloro al ambiente	Humedad dentro del sistema de cloro	Ninguna	10	1	8	80	Cambio de tramos de tubería por tiempo de vida útil	Dep. mto	Cambio de tramos de tubería anual	5	2	3	30
		Falsa señal en sensor de nivel	No visualización de nivel del tanque	Descalibración	Ninguna	5	3	8	120	Instalar sensor de nivel por onda guiada. Habilitar trips por alto y bajo nivel	Dep. instrumentación	Instalar sensor de nivel por onda guiada. Habilitar trips por alto y bajo nivel	4	1	1	4
				Congelamiento de sensores por mal recubrimiento	Ninguna	5	1	10	50	Revisión periódica de protecciones de los sensores	Dep. instrumentación	Revisión mensual de protecciones de los sensores	4	1	1	4

AMEF DE:		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							GERENCIA: Operaciones		INGENIERO: María Desiderio								
EQUIPO <input type="checkbox"/> PROCESO <input checked="" type="checkbox"/> DISEÑO <input type="checkbox"/>		AMEF No. 0001							DEPARTAMENTO: Producción CloroSoda		FECHA:								
PROVEEDOR AFECTADO		DESCRIPCIÓN							NOMBRE DEL PROCESO: Licuación de cloro		DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS: Mantenimiento / Producción								
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	FUNCIÓN DEL EQUIPO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE LA FALLA	SITUACIÓN ACTUAL				ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	SITUACIÓN PRÓXIMA								
					ACCIONES ACTUALES	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN			NPR	ACCIONES ADOPTADAS	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR			
Bomba de cloro líquido	Transfiere el cloro líquido hacia el Isocontenedor	No eleva la presión de descarga	No se bombea cloro líquido hacia el isotanque	Nivel de Tanque de cloro líquido muy bajo T-406	Manómetro	10	4	1	40	Instalar swich de presión que pare la bomba cuando la presión baje de 100 psi (operación normal 150 psi)	Dep. instrumentación	Instalar de switch de presión en la descarga de p-405	10	1	1	10			
				Giro invertido															
				Bomba atorada															
		Bomba atorada	No se bombea cloro líquido hacia el isotanque	Suciedad y virutas de hierro en la succión de la bomba	Filtro Y en la succión de la bomba	10	3	5	150	Limpieza o cambio de filtro en y para eliminación de impurezas	Dep. instrumentación / Dep. producción	Cambiar de filtros en parada de planta	10	1	2	20			
										Retener las virutas de hierro antes de que la bomba lo succione							Dep. mto	Construcción de bota para la parte más baja del tanque T-406	
		Aumento de temperatura de estator	El bobinado se quema y aumenta la presión del cloro dentro de la misma lo que puede provocar una explosión	Giro invertido, roce entre el estator y rotor	Ninguno	10	2	10	200	Sensor de temperatura	Dep. instrumentación	Instalar sensor de temperatura	10	1	1	10			
				Se taparon los orificios de enfriamiento															
		Aumento de desplazamiento de rotor	Daño en los impulsores	Daño en el sello de carbón	Medición en línea de desplazamiento del rotor	6	1	7	42	Análisis mensual de medición en línea de desplazamiento del rotor	Sup. de producción	Revisión mensual de promedio de medición en línea de desplazamiento	6	1	3	18			
		Daño en el sello de carbón	Se eleva la corriente y se tripea el guardamotor	Se queda sin líquido el tanque T406	Nivel de tanque de cloro líquido	10	1	10	100	Cambiar tipo de medición de nivel	Dep. instrumentación / Dep. producción	Instalación de sensor de nivel ultrasónico	9	1	1	9			
Se tapa por llegada de basura	Ninguna																Retener las virutas de hierro antes de que la bomba lo succione	Dep. mto	Construcción de bota para la parte más baja del tanque T-406
Desgaste de bocines	Pérdida de presión de descarga	Cumplimiento de tiempo de horas de servicio	Horas de servicio	8	1	7	56	Revisar planificación de mto	Dep. mto	Establecer mto cada 6 meses	10	1	1	10					

AMEF DE:			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							GERENCIA: Operaciones		INGENIERO: María Desiderio				
EQUIPO <input type="checkbox"/>	PROCESO <input checked="" type="checkbox"/>	DISEÑO <input type="checkbox"/>	AMEF No. 0001							DEPARTAMENTO: Producción CloroSoda		FECHA:				
PROVEEDOR AFECTADO		DESCRIPCIÓN	NOMBRE DEL PROCESO: Licuación de cloro							DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS: Mantenimiento / Producción		HOJA 5 DE 7				
DESCRIPCIÓN DEL EQUIP	FUNCIÓN DEL EQUIPO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SITUACIÓN ACTUAL				ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	SITUACIÓN PRÓXIMA					
					ACCIONES ACTUALES	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN			NPR	ACCIONES ADOPTADAS	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
Isocontenedor de cloro líquido	Almacena el producto final para luego llevarlo a diferentes presentaciones	Falla en válvula de entrada	Fuga por vástago	Corrosión por humedad	Ninguno	8	3	7	168	Control de humedad en líneas de aire seco	Dep. calidad	Medición de humedad en el aire mensual	8	1	5	40
			No cierra	Tiempo de vida útil	Ninguno	8	1	7	56	Cambio de válvulas de acuerdo al tiempo de vida útil	Dep. mtto	Cambio de válvulas cada 2 años de funcionamiento	8	1	4	32
			No abre													
		Falla en válvula de salida	Fuga por vástago	Corrosión por humedad	Ninguno	8	3	7	168	Control de humedad en líneas de aire seco	Dep. calidad	Medición de humedad en el aire mensual	8	1	5	40
			No cierra	Tiempo de vida útil	Ninguno	8	1	7	56	Cambio de válvulas de acuerdo al tiempo de vida útil	Dep. mtto	Cambio de válvulas cada 2 años de funcionamiento	8	1	4	32
			No abre													
Válvula de control PV-403	Permite recircular parte del cloro enfriado en el intercambiador E-404 para mantener temperatura estable en el aspirador de cloro K-401	Actuador no cierra	Al no tener recirculación no se mantiene la presión de entrada del aspirador de cloro	Falta de mtto	Ninguna	4	1	3	12	Mtto periódico	Dep. instrumentación	Establecer mtto cada 6 meses	4	1	1	4
Válvula de control LV-404	Permite controlar el nivel del tanque T-406 y enviar el cloro al isotanque	Válvula tapada	No permite el paso del cloro no licuado a la unidad de hipoclorito	Falta de mtto	Ninguna	4	1	3	12	Mtto periódico	Dep. instrumentación	Establecer mtto cada 6 meses	4	1	1	4

AMEF DE:			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA						GERENCIA: Operaciones		INGENIERO: María Desiderio					
EQUIPO <input type="checkbox"/>	PROCESO <input checked="" type="checkbox"/>	DISEÑO <input type="checkbox"/>	AMEF No. 0001						DEPARTAMENTO: Producción CloroSoda		FECHA:					
PROVEEDOR AFECTADO		DESCRIPCIÓN	NOMBRE DEL PROCESO: Licuación de cloro						DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS: Mantenimiento / Producción		HOJA 6 DE 7					
DESCRIPCIÓN DEL EQUIP	FUNCIÓN DEL EQUIPO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SITUACIÓN ACTUAL				ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	SITUACIÓN PRÓXIMA					
					ACCIONES ACTUALES	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN			NPR	ACCIONES ADOPTADAS	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
Compresor de freón	Comprimir el freón	Succión de líquido	Daño en pistones	Mucho freón en el sistema que no logra evaporarse	Medición de recalentamiento en la succión	10	3	1	30	Instalar control de nivel visual para el correcto ingreso de freón en el sistema	Dep. mto / Dep. Producción	Instalación de ojos de buey para medición visual de nivel de freón líquido en el evaporador	9	1	1	9
		Fuga de aceite	Para el equipo por bajo nivel de aceite	Daño de empaques	Visor de nivel	10	2	2	40	Revisión de último mto por histórico SAP	Dep. mto	Cambio de empaques en paradas de planta general como mto preventivo	5	1	1	5
		Fuga de agua	Para el equipo por alta temperatura en cabezote	Daño de empaques o rotura en tuberías de agua de enfriamiento	Ninguno	10	1	2	20	Revisión de último mto por histórico SAP	Dep. mto	Cambio de empaques en paradas de planta general como mto preventivo	5	1	1	5
		Alta vibración	Daño en bocines	Desalineación	Mto predictivo	7	1	1	7	Ninguna	Dep. mto	mto predictivo	7	1	1	7
		Daño de rodamientos del motor	Sube la corriente, trip del guardamotor	Desalineación, vida útil	Ninguno	10	1	3	30	Alineación periodica por parte de proveedor externo	Dep. mto	Alineación en paradas de planta general como mto preventivo	8	1	1	8
		Daño en computador UNISAB Controlador de variables del equipo	No visualización de las variables del proceso, para el equipo	Cortocircuito, corrosión, humedad	Ninguno	10	3	6	180	Implementar recubrimiento que no permita la entrada de humedad en el sistema	Dep. instrumentación	Instalación de caja con ventilación de aire seco para cuidado de computador Unisab	10	1	1	10

AMEF DE:			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA					GERENCIA: Operaciones		INGENIERO: María Desiderio						
EQUIPO <input type="checkbox"/>	PROCESO <input checked="" type="checkbox"/>	DISEÑO <input type="checkbox"/>	AMEF No. 0001					DEPARTAMENTO: Producción CloroSoda		FECHA:						
PROVEEDOR AFECTADO		DESCRIPCIÓN		NOMBRE DEL PROCESO: Licuación de cloro					DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS: Mantenimiento / Producción		HOJA 7 DE 7					
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	FUNCIÓN DEL EQUIPO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SITUACIÓN ACTUAL				ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	SITUACIÓN PRÓXIMA					
					ACCIONES ACTUALES	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN			NPR	ACCIONES ADOPTADAS	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
Condensador de freón	Condensa el freón comprimido y lo envía al evaporador	Fisura en los tubos del intercambiador	Paso de freón a lado de agua, Disminución de nivel de freón en el sistema que luego pararía el compresor	Corrosión de tubos	Ninguno	8	1	10	80	Control de humedad en el sistema de cloro	Dep. calidad	Medición de humedad en el aire mensual	8	1	1	8
		Aumento de temperatura de freón	No condensa el freón para poder transferir calor en el evaporador	Falta de flujo de agua de enfriamiento	Ninguno	10	1	7	70	Toma de temperatura de freón	Dep. instrumentación	Instalación de termómetro	10	1	2	20
Válvula de expansión	Baja la presión del líquido para que este baje su temperatura en el evaporador	Daño en vástago	flujo de freón adecuado para la transferencia de calor	Tiempo de vida útil	Ninguno	10	2	3	60	Revisión de último mto por histórico SAP	Op. de mto	Cambio de vástago según mto histórico cada 3 años	10	1	1	10
		Taponamiento	No regula el flujo de freón adecuado para la transferencia de calor	Suciedad en la línea	filtros piedra	10	1	5	50	Limpeza de filtros por tiempo de operación	Op. de mto	Limpeza de filtros por tiempo de operación	10	1	1	10

2.3. Equipos críticos

Antes de definir los equipos críticos se enlistan los fallos con mayor número NPR (mayor a 100) detallados en el AMEF para la implementación de mejoras como se observa en la tabla 9.

Tabla 9. Resumen de modos y efectos de falla con mayor número NPR

Equipo	Modo de falla	Efecto de la falla	Causa de la falla	NPR
<i>Bomba de cloro líquido P-405</i>	Aumento de temperatura de estator	El bobinado se quema Aumento de Presión Posible explosión del equipo	Giro invertido No circula cloro líquido y por tanto no se enfría	200
<i>Bomba de cloro líquido P-405</i>	Bomba atorada	No bombea cloro líquido a isotanque	Suciedad o virutas de hierro en la succión de la bomba	150
<i>Aspirador de Cloro K-401</i>	Daño en rodamientos	Aumento de temperatura en la cajera	Daño en el sello	128
<i>Aspirador de Cloro K-401</i>	Daño en el sello	Daño en rodamientos	Falta de aire en el sistema	135
<i>Aspirador de cloro K-401</i>	Daño de bandas del motor del aspirador	Paro de la unidad de licuación	Mala instalación	120
<i>Intercambiador de calor E-404</i>	Enfriar el cloro luego de ser aspirado por el K-401	Pitting en las tuberías	Entrada de cloro húmedo al sistema	100
<i>Licuador de cloro E-405</i>	Mal ajuste en bridas o empaques	Fuga de cloro	Empaques mal colocados	100
<i>Tanque reservorio de cloro líquido T-406</i>	Falsa señal en sensor de nivel	No visualización de nivel del tanque	Falta de calibración	120
<i>Isocontenedor</i>	Falla en válvulas	Fuga por vástago	Corrosión por humedad	168
<i>Compresor de freón</i>	Daño de computador UNISAB	No visualización de variables de proceso	Humedad	180

Los equipos críticos deberán considerar los siguientes aspectos:

- La probabilidad de aparición del fallo y la severidad o su impacto en la producción de acuerdo con la matriz de criticidad.
- El número NPR antes de la implementación de mejoras

Se establece el siguiente método de evaluación para establecer los equipos críticos de la unidad de licuación. El análisis de criticidad basada en la teoría del riesgo permite

establecer el nivel de importancia para atacar el fallo y su impacto en la organización de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{consecuencia.}$$

Donde la frecuencia determina la cantidad de fallos o eventos en un tiempo determinado y la consecuencia como el resultado de dicho evento ya sea como pérdida de producción, impacto ambiental, mantenimiento o seguridad.

Se determina la probabilidad o frecuencia según el número de ocurrencia de fallos y se establece el siguiente puntaje:

- 1 Evento sumamente improbable: menos de 1 fallo en 5 años
- 2 Evento improbable: 1 fallo cada 5 años
- 3 Evento Posible: 1 fallo en 3 años
- 4 Evento probable: de 1 a 3 fallos al año
- 5 Evento frecuente: más de 3 fallos al año

Para determinar las consecuencias, la empresa establece los criterios de importancia de la siguiente manera en las tablas 10 y 11:

Tabla 10. Tabla de criterios para establecer las consecuencias en la matriz de criticidad

Puntaje	Seguridad y medio ambiente	Producción/mantenimiento
A	No hay impacto	Pérdidas menores de producción y costos de mto al 5%
B	Efectos sobre la salud y ambiente menores	Pérdidas de producción y costos de mto entre el 5% - 24%
C	Efectos sobre la salud temporales y afectación moderada del medio ambiente	Pérdidas de producción y costos de mto entre el 25% - 49%
D	Efectos sobre la salud de por vida y afectación sensible al ambiente	Pérdidas de producción y costos de mto entre el 50% - 74%
E	Pérdida humana y cierre total de operaciones	Pérdidas de producción y costos de mto entre el 75% - 100%

Tabla 11. Matriz de criticidad

Matriz de criticidad	CONSECUENCIAS				
	A	B	C	D	E
PROBABILIDAD 5	MEDIO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
4	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
3	BAJO	MEDIO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
2	BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	ALTO
1	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	ALTO

(Parra C., 2021)

Para los equipos de la unidad de licuación se considera su criticidad como el producto entre la probabilidad del fallo y su consecuencia basándonos en el histórico de fallas del año 2020.

Compresor Sabroe de Freón: 2 fallas

Probabilidad del fallo: 4 x Consecuencia: C = Alto

Fallos con NPR alto:

Aspirador de cloro K-401: 3 fallas

Probabilidad del fallo: 4 x Consecuencia: C = Alto

Bomba de cloro P-405: 5 fallas

Probabilidad del fallo: 5 x Consecuencia: E = **Muy alto**

Tanque de cloro líquido T-406: 1 falla

Probabilidad del fallo: 4 x Consecuencia: C = Alto

De acuerdo con las fallas en la bomba de cloro líquido P-405 del 2020 (periodo de 1 año), se define su criticidad como muy alta. Adicional, el aspirador de cloro, el compresor de freón y el tanque de cloro líquido también son equipos que se consideran críticos en un nivel alto.

Una parada para corregir una falla en la bomba de cloro líquido debe ser mínimo de 18 horas que incluyen 4 horas de barrido de las líneas de cloro, 10 horas de trabajo de mantenimiento y 4 horas de secado de las líneas con aire. Debido a esto, las pérdidas de producción por una parada de 18 horas x (8,5 ton de cloro líquido / 24 horas de producción) equivale a 6,4 ton de cloro líquido. Adicional, al tener parada la unidad de licuación, la carga del electrolizador debe bajar a 11 KA lo que significaría a una pérdida de producción de hidróxido de sodio de 17,9 ton.

El análisis de criticidad para los 4 equipos que presentaron fallas en el 2020 permite establecer mejoras de manera prioritaria porque no solo afecta a la organización como pérdida de producción de cloro líquido o de hidróxido de sodio, sino que también es un grave riesgo en la seguridad de las personas por la liberación de cloro al ambiente.

2.4. Implementación de mejoras

En la implementación de mejoras en la unidad de licuación se estable como prioridad el equipo crítico, es decir, la bomba de cloro líquido P-405. Luego de eso se han ido implementando mejoras en los equipos que también presentaron un alto nivel de criticidad: el aspirador de cloro, el tanque de cloro líquido y compresor Sabroe.

Se trataron las variables con el número más alto de NPR del análisis AMEF y se establecieron las soluciones después de una evaluación de la causa raíz del problema encontrado.

A continuación se describen las mejoras implementadas por equipo.

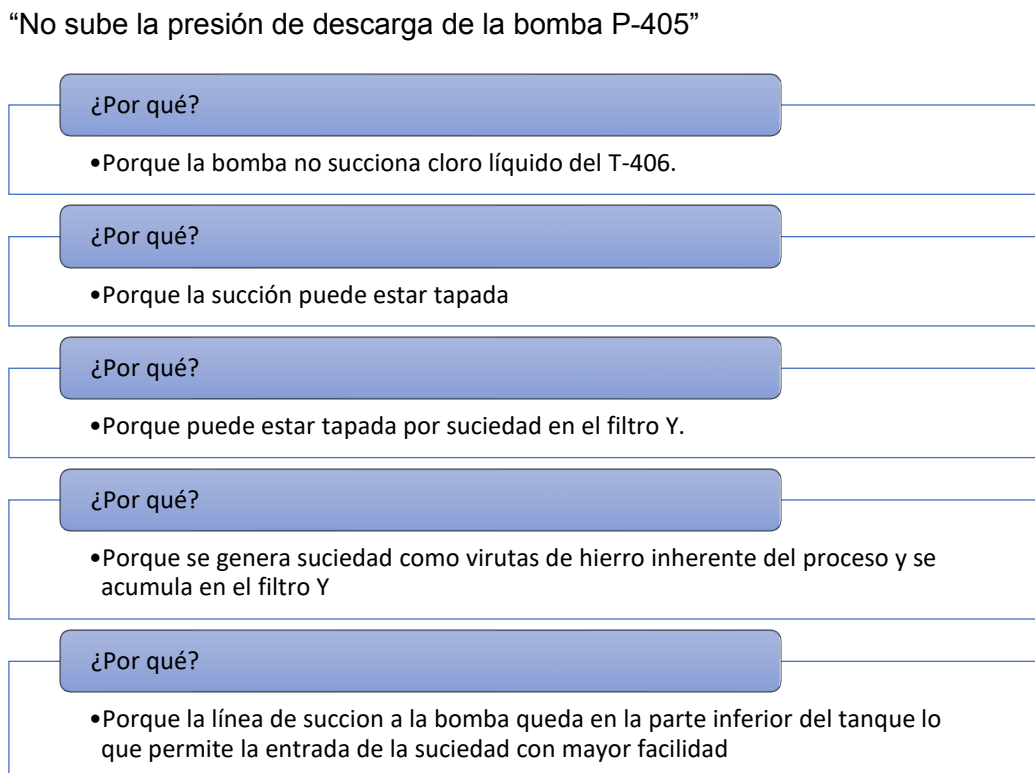
P- 405 BOMBA DE CLORO LÍQUIDO

En diciembre del 2020 se presentaron varios problemas en la bomba de cloro líquido entre ellos el taponamiento del equipo que no permitía subir la presión de descarga.

En ese momento la bomba trabajaba en forma manual y eso implicaba que no tenía ningún enclavamiento por baja presión de descarga. La consecuencia de no haberse apagado fue la pérdida total del equipo.

En el análisis de los 5 “por qué” se concluye que es necesario la implementación de las mejoras que involucran la instalación de una bota en la parte inferior del tanque T-406 para que recoja la suciedad antes de llegar al filtro en Y de la succión de la bomba y habilitar los enclavamientos de la bomba para la seguridad en la operación con sus respectivos controles.

Análisis de 5 por qué:



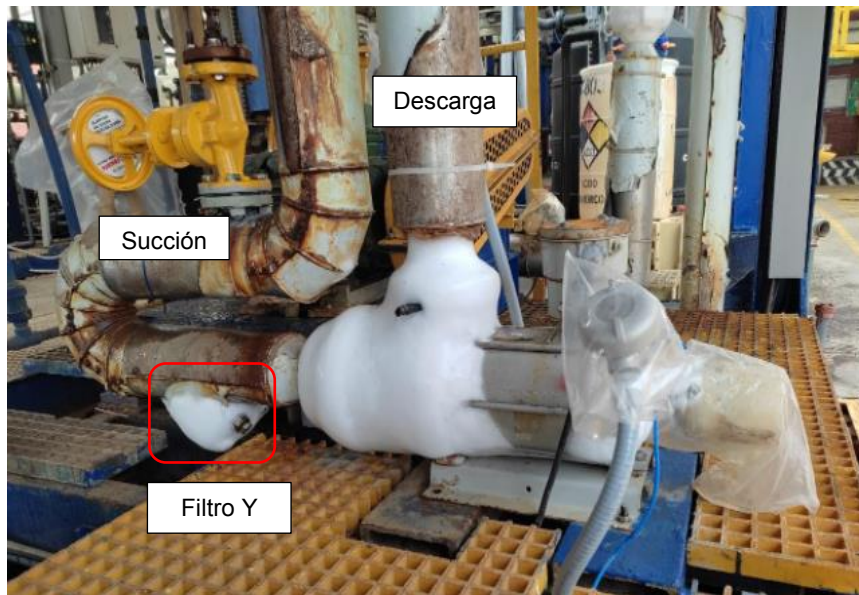


Figura 9. Bomba de cloro líquido en operación



Figura 10. Instalación de bota que retiene las virutas de hierro antes de que sean succionadas por la bomba de cloro líquido

Se instala un tubo para recoger la limalla y virutas de hierro generados por la acción del cloro sobre el acero al carbono con el tiempo de operación antes de la succión de la bomba (Figura 10). Anteriormente solo había una válvula de corte para inspección interna del tanque en paradas de planta.

Fecha de implementación y responsable:

29 de Julio 2021, realizado por el departamento de Mantenimiento

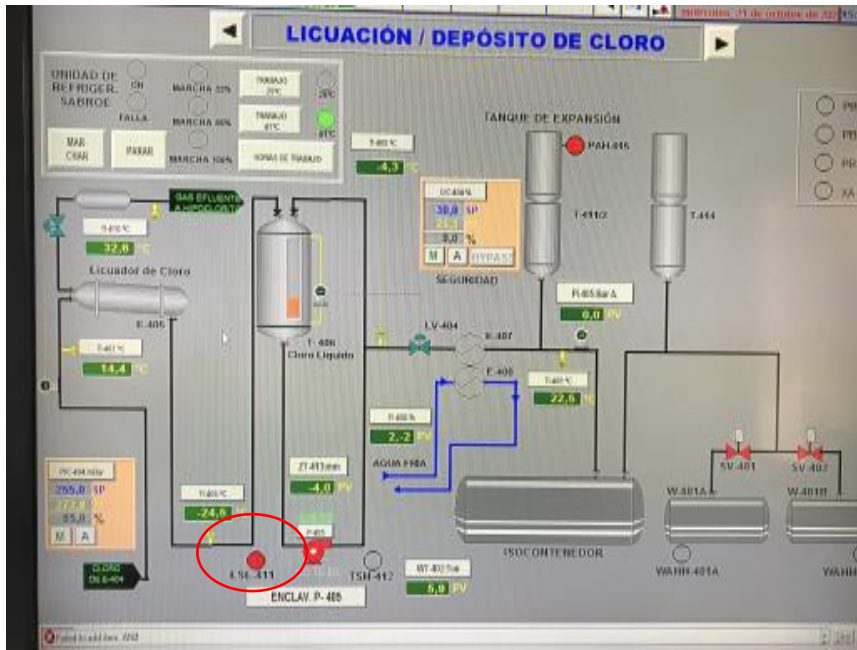


Figura 11. Pantallas de sala de control antes de habilitar los enclavamientos de P-405

El manómetro de descarga de la bomba de cloro es un indicador de presión en campo. La bomba solo trabajaba de forma manual, lo que no permitía habilitar el trip de la bomba una vez que la presión baje del valor estándar de operación. En pantalla ese sensor se mostraba en rojo como lo indica la figura 11.



Figura 12. Manómetro con switch de presión instalado en la descarga de la bomba

Para mejorar el control de los enclavamientos de la bomba se instala manómetro de campo para medir la presión de descarga de la bomba con Switch de presión (Figura 12) y se habilita en pantalla el trip por baja presión de descarga que indica que no hay flujo de cloro (Figura 13).

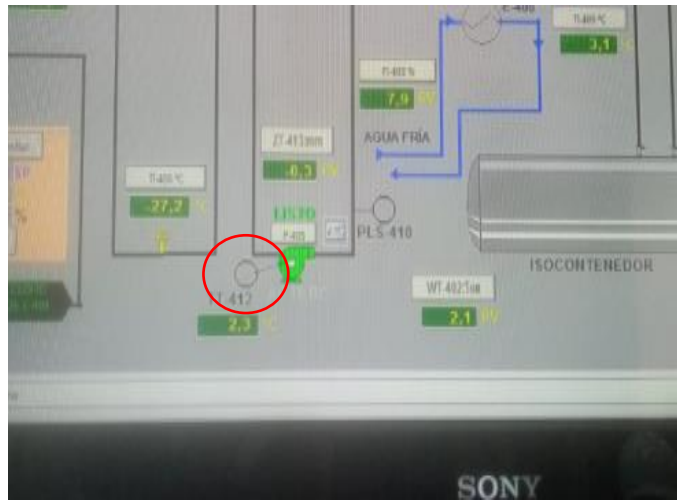


Figura 13. Pantallas de sala de control después de habilitar el trip por baja presión de descarga



Figura 14. Sensor de temperatura y vibración instalado

También se instalan los sensores de temperatura y vibración y se habilitan los siguientes enclavamientos (Figura 14):

- Bajo nivel del tanque T-406.
- Alto peso de isotanque.
- Muy alto desplazamiento.
- Muy bajo desplazamiento.
- Muy alta temperatura

Fecha de implementación y responsable:

11 de junio del 2021 por el departamento de instrumentación

ASPIRADOR DE CLORO K-401



Figura 15. Aspirador de cloro K-401 integrado por motor, bandas y voluta



Figura 16. Visualización de sensores de temperatura en la cajera y entrada de aire al sello

Para el año 2020 el aspirador de cloro (figura 15 y 16) presentaba fallas por daño en bandas, en sello y en rodamientos.

Análisis de 5 por qué:

“Daño en rodamientos del motor del aspirador”

¿Por qué?

- Porque existe roce entre esos elementos

¿Por qué?

- Porque se genera una alta vibración en el sistema

¿Por qué?

- Porque está desalineado el motor con el aspirador

¿Por qué?

- Porque existe un desajuste o daño interno en el aspirador

¿Por qué?

- Porque existe un daño en el sello

El cambio de los rodamientos está establecido para 5000 horas de uso, es decir, se establece el cambio cada 6,5 meses de operación.

“Daño en el sello del aspirador”

¿Por qué?

- Porque existe una sobrepresión del aceite en la cajera

¿Por qué?

- Porque se degrada el aceite con el tiempo de operación

¿Por qué?

- Porque no se cambia el aceite cuando se presentan problemas de cloro

¿Por qué?

- Porque entra cloro a la cajera y daña el aceite

¿Por qué?

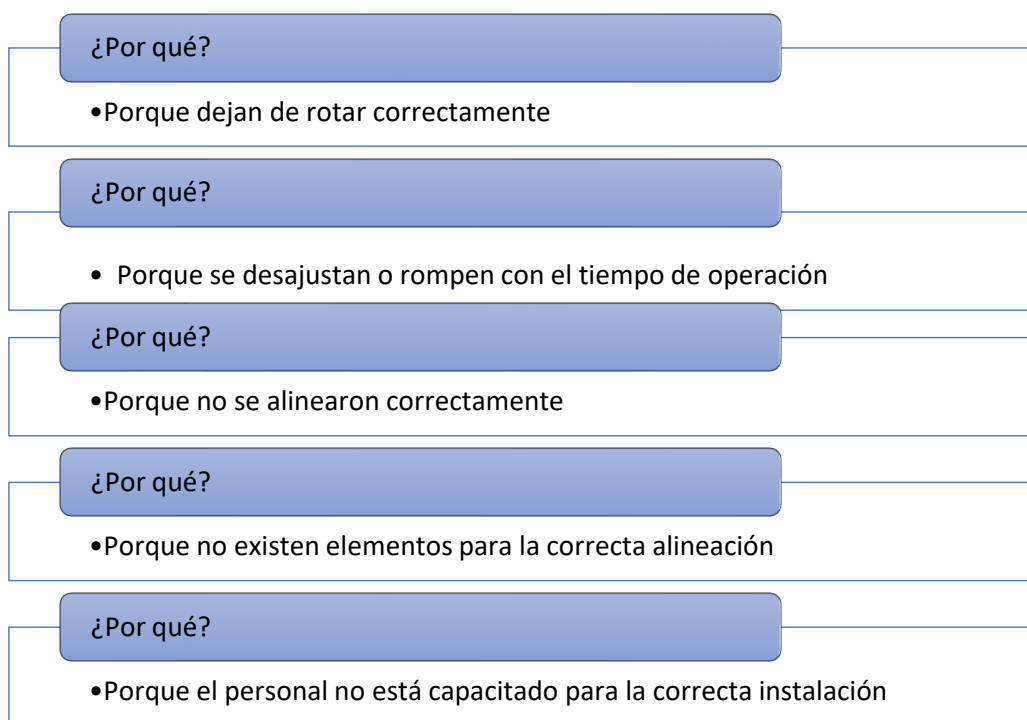
- Porque existe falta de aire para proteger el sistema de la entrada de cloro a la cajera donde se encuentra el sello

En el año 2020 el cambio del sello en el aspirador se dió dos veces por el proveedor de mantenimiento externo. Este no lleva registro en SAP debido a que los repuestos se mandan a fabricar bajo medida. La falta de aire en el aspirador debe ser regulada por los operadores de planta y está a cargo del supervisor, de esta manera se establece que la condición para enviar cloro al aspirador es que tenga el aire suficiente para que no haya fuga del gas al ambiente controlando el flujo por medio de un rotámetro (Figura 17).



Figura 17. Cambio de rotámetro por uno de mayor flujo

“Daño en bandas del aspirador de cloro”



Los históricos SAP de cambio de bandas presenta la siguiente novedad durante el año 2020 (Figura18).

Para el aspirador de K-401 se utilizaron 20 unidades de bandas marca Optibelt de enero a diciembre del 2020. Para cada mantenimiento correctivo se utilizan 4 unidades lo que representó 5 cambios durante ese periodo de tiempo. El tiempo estimado para cambio de bandas es cada 2,4 meses, este trabajo demora máximo 20 minutos.

Ce.	EC21 Guayaquil						
Material	007-026601						
Denominación	BANDA SPA 1700 LISA OPTIBELT						
Stock al 01.01.2020						18 PZ	
Total de entradas						26 PZ	
Total de salidas						26- PZ	
Stock al 31.12.2020						18 PZ	
Alm.	CMv	E	Doc.mat.	Pos	Fe.contab.	Cantidad	UMB
1205	101		5000131215	1	01.07.2020	20	PZ
*	101					20	PZ
1205	261		4900088395	1	14.02.2020	4-	PZ
1209	261		4900183933	1	13.04.2020	4-	PZ
1209	261		4900212369	7	04.05.2020	4-	PZ
1205	261		4900381902	2	20.08.2020	4-	PZ
1205	261		4900550380	1	02.12.2020	4-	PZ
*	261					20-	PZ

Figura 18. Consumo de bandas para el aspirador K-401 en SAP

Para realizar el cambio cada 2,4 meses el personal de mantenimiento recibió la capacitación para la correcta alineación en la instalación de las bandas con Vibratec, proveedor externo.

Fecha de implementación y responsable:

Año 2020 por el departamento de mantenimiento

TANQUE DE CLORO LÍQUIDO



Figura 19. Tanque T-406 que recibe el cloro líquido que se genera en el licuador

Análisis de 5 por qué:

“Medición falsa de nivel de cloro líquido en T-406”

- ¿Por qué?

 - Porque el sensor de nivel por presión diferencial tiene una alta variación en la medición
- ¿Por qué?

 - Porque el control de nivel por recirculación de la bomba genera mucha oscilación en la presión.
- ¿Por qué?

 - Porque el principio de medición no es el correcto para el proceso
- ¿Por qué?

 - Porque se manejan dos fases del mismo material: gas y líquido
- ¿Por qué?

 - Porque para mantener el nivel es necesario el equilibrio de ambas fases

La medición errónea de nivel del tanque T-406 (Figura 19) tiene como consecuencia de que la bomba P-405 se apague por baja presión de descarga, es decir, es posible que en pantalla de sala de control se muestre un nivel alto mientras que la descarga de la bomba este en 0 psi. Esto puede terminar siendo un problema ya que si en algún momento falla el enclavamiento de la bomba P-405 esta puede dañarse.

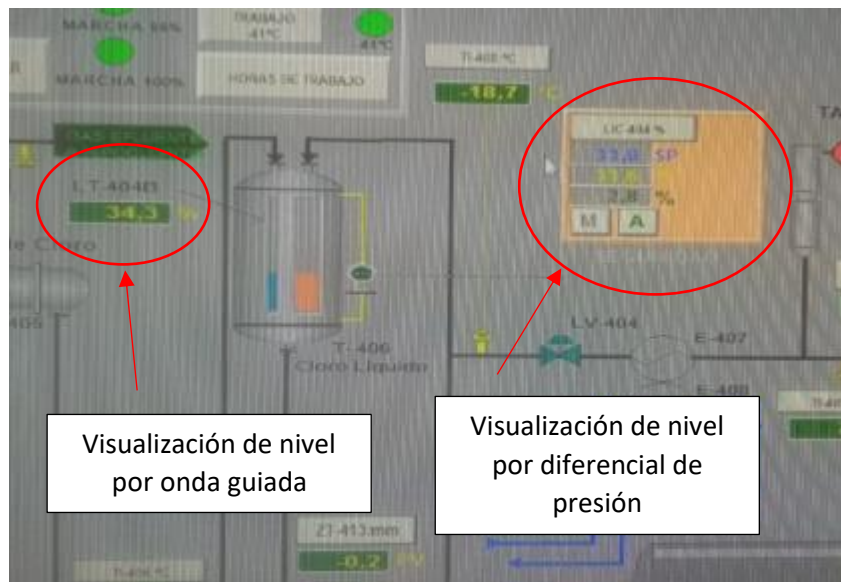


Figura 20. Visualización de sensores de nivel bajo diferentes principios de medición



Figura 21. Diferencias de la medición de nivel entre los dos sensores.

La implementación de un sensor de nivel más confiable bajo el principio de operación de onda guiada muestra en pantalla un nivel más próximo a la realidad sin variación (figuras 20 y 21). Gracias a esto se logra habilitar el trip para la bomba P-405 por bajo nivel del tanque T-406 teniendo una medida de nivel más estable.

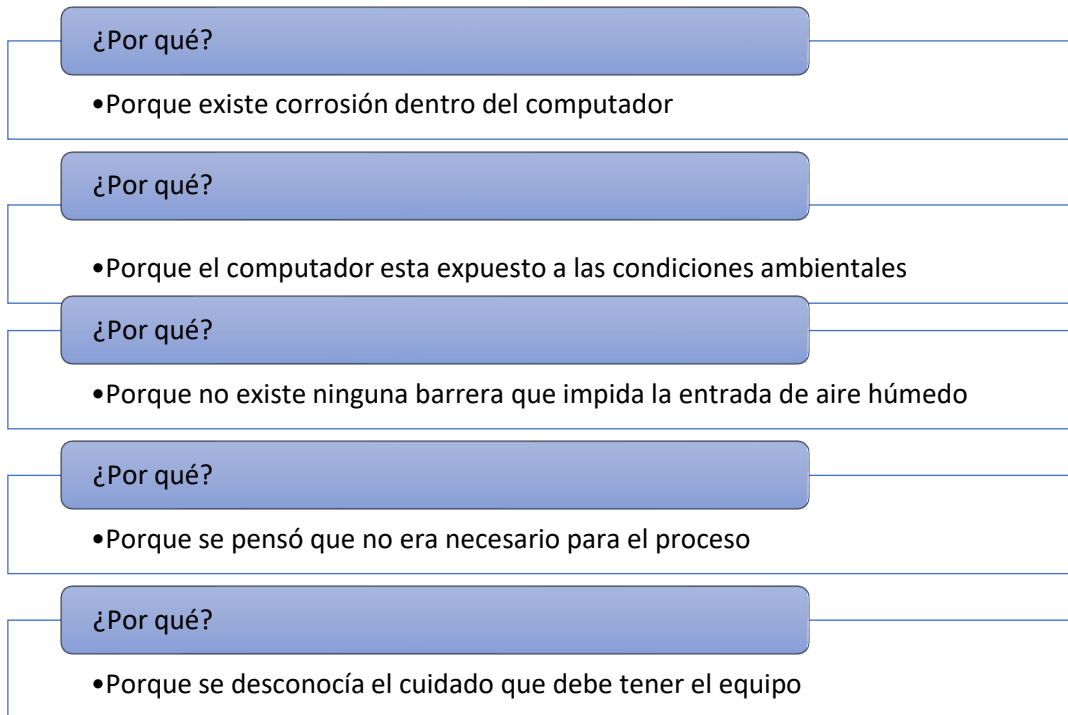
COMPRESOR DE FREÓN SABROE



Figura 22. Cajetín que mantiene libre de humedad el computador UNISAB del compresor de freón Sabroe.

Análisis de 5 por qué:

“Entrada de humedad en computador UNISAB”



El daño en el computador UNISAB en el año 2020 fue provocado por la entrada de humedad en la tarjeta electrónica interna del equipo. El ambiente donde está instalado es muy corrosivo y el equipo necesita de protección para alargar su vida útil.

El departamento de instrumentación implementó un cajetín (Figura 22) que evita la entrada de humedad. El sistema se mantiene ventilado con aire seco que entra a través de una resina que retiene el mínimo rastro de humedad. Fecha de implementación: marzo 2020.

Otra de las mejoras implementadas para mejorar la eficiencia del compresor de freón Sabroe fue la instalación de un visor de nivel en el evaporador (figura 23).

Análisis de 5 por qué:

“Baja eficiencia del compresor de Freón”

¿Por qué?

- Porque existe bajo nivel de freón en el evaporador

¿Por qué?

- Porque no existe un control de nivel de freón en el evaporador

¿Por qué?

- Porque al poner el visor de nivel se congela y no hay visualización

¿Por qué?

- Porque no es el principio correcto de medición

¿Por qué?

- Porque se desconocía la tecnología adecuada de medición.



Figura 23. Licuador de cloro/ Evaporador de freón E-405

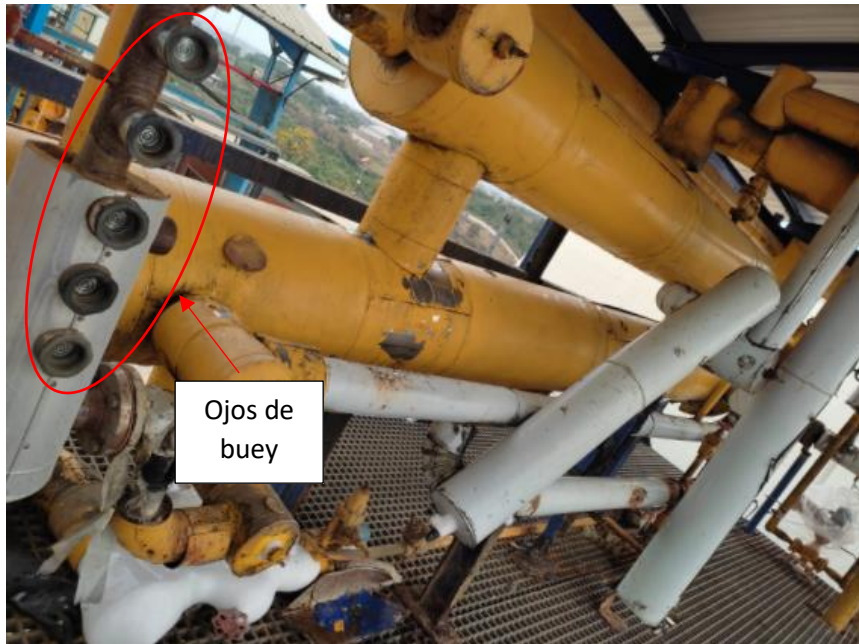


Figura 24. Instalación de ojos de buey para visualización de nivel de freón líquido en el evaporador

La medición de nivel de freón líquido se visualizaba en el condensador, parte inferior del sistema. Este nivel no representaba que tan inundado estaba el evaporador por lo que la eficiencia en la producción de cloro líquido era baja, es decir, no había suficiente freón que pueda condensar el cloro que ingresa a la unidad.

Por esta razón se instalan los ojos de buey (Figura 24) para tener un control visual de la cantidad de freón que inunda el evaporador, de esa manera se ingresa el freón suficiente para licuar las 8,5 ton diarias de cloro líquido manteniendo una operación estable en el compresor de freón al 100% de su capacidad.

Fecha de implementación y responsable:

Diciembre del 2020 por el departamento de mantenimiento.

Hasta el día de hoy, estas han sido las mejoras implementadas en el proceso (tabla 12):

Tabla 12. Resumen de mejoras implementadas

Equipo	Modo de falla	Efecto de la falla	Causa de la falla	Mejora implementada
<i>Bomba de cloro líquido P-405</i>	Aumento de temperatura de estator	El bobinado se quema Aumento de Presión Posible explosión del equipo	Giro invertido No circula cloro líquido y por tanto no se enfría	Control en el nivel del Tanque T-406
<i>Bomba de cloro líquido P-405</i>	Bomba atorada	No bombea cloro líquido a isotanque	Suciedad o virutas de hierro en la succión de la bomba	Instalación de bota que retiene la suciedad
<i>Aspirador de Cloro K-401</i>	Daño en rodamientos	Aumento de temperatura en la cajera	Daño en el sello	Cambio cada 6 meses por horas de uso
<i>Aspirador de Cloro K-401</i>	Daño en el sello	Daño en rodamientos	Falta de aire en el sistema	Mejora el flujo de aire de la unidad por visualización en rotámetro
<i>Aspirador de cloro K-401</i>	Daño de bandas del motor del aspirador	Paro de la unidad de licuación	Mala instalación	Capacitación al personal para correcta instalación. Cambio cada 2,5 meses por horas de uso.
<i>Tanque reservorio de cloro líquido T-406</i>	Falsa señal en sensor de nivel	No visualización de nivel del tanque	Falta de calibración	Control de nivel
<i>Compresor de freón</i>	Daño de computador UNISAB	No visualización de variables de proceso	Humedad	Instalación de cajetín.

CAPITULO 3

3.1. Resultados

Las mejoras implementadas en la unidad de licuación hasta agosto del 2021 han sido aquellas que permitieron mantener estable la operación del sistema. En la Figura 25 se muestra el número de horas de paros no programados por mes en la unidad de licuación basado en el histórico de porcentaje de capacidad a la que trabaja el compresor Sabroe, equipo necesario para cambiar el estado del cloro de gas a líquido.

En el periodo de enero a julio del 2021 se suman un total de 192 horas repartidas entre los diferentes motivos: 0% debido a daños en la unidad de licuación, 75% por mantenimientos generales como cambio de transformador y ampliación de la subestación eléctrica, 25% por cambio de celdas en el electrolizador y 0% por cortes externos como se describe en la tabla 13.

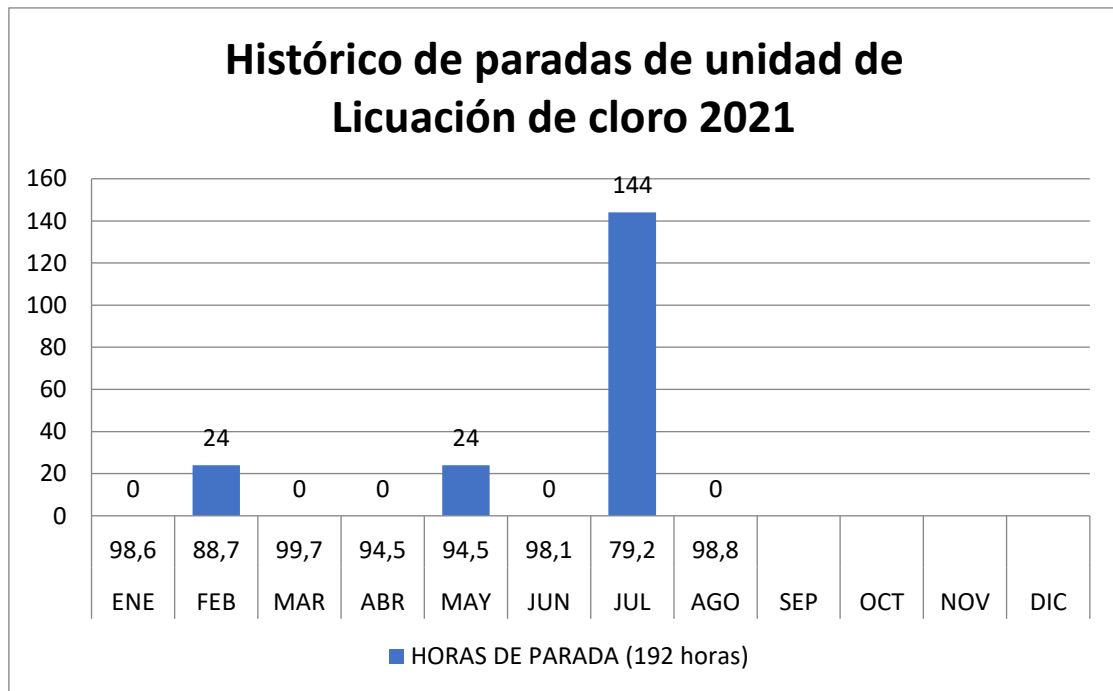


Figura 25. Horas de paradas de licuación por mes en el año 2021

Planta Química, Data link departamento de producción

Tabla 13. Detalle de paradas de unidad de licuación por fallo

RAZÓN DE PARADA	%	HRS PARADAS
<i>LICUACIÓN</i>	0%	00:00:00
<i>MANTENIMIENTO GENERAL</i>	75%	144:00:00
<i>ELECTROLIZADOR</i>	25%	48:00:00
<i>CORTES EXTERNOS, FALLAS MENORES</i>	0%	00:00:00
	100%	192:00:00

Planta Química, Departamento de mantenimiento

En comparación con las 696 horas de paros no programados del año 2020, hasta julio del 2021 se demuestra que el análisis de modo y efecto de falla fue una de las herramientas necesarias para resolver algunos problemas operativos de la unidad de licuación debido a que se logró reducir a 192 horas de paradas.

De la tabla 14 y en la figura 26 se compara el porcentaje de paradas generales entre el año 2020 y el año 2021 hasta el mes de agosto. El promedio de paradas de planta no programadas se redujo de 2,3% a 0,8% luego de haber implementado los cambios en la unidad de licuación desde diciembre del 2020 por lo que se cumple el objetivo de reducir al menos el 20% de paros no programados debido a problemas en la unidad.

Tabla 14. Comparación de porcentajes de parada de planta periodo 2020-2021

	PARADAS NO PROGRAMADAS CLSO 2020												PARADAS NO PROGRAMADAS CLSO 2021							
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Días [#]	31,0	29,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	29,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0
Electromecánico - Licuación [h]	0,0	0,0	8,5	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	17,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Instrumentación - Licuación [h]	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Paradas Varias	0,9	6,4	39,7	11,3	23,9	5,8	9,1	1,6	0,0	4,0	20,8	37,7	2,2	30,6	1,4	9,8	26,2	1,6	106,3	11,1
Total Planta parada (%)	0,1	0,9	7,0	1,6	4,0	0,8	1,2	0,2	0,0	0,5	4,0	7,4	0,3	2,3	0,2	1,4	0,6	0,2	0,0	1,5
Promedio	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Planta Química, Data link departamento de producción

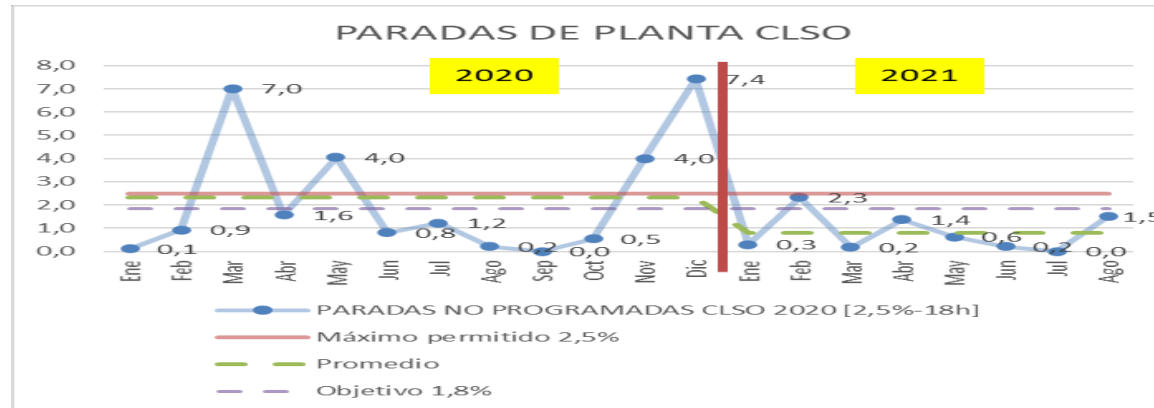


Figura 26 Porcentaje de paradas de planta por mes, año 2020-2021

Es importante recalcar que, aunque la unidad tenga horas de paradas no programadas en los meses de febrero, mayo y julio ninguna de ellas fue por fallas directas en la unidad de producción de cloro líquido.

Tabla 15. Cuadro comparativo de horas de paradas no programadas 2020-2021

Año	Horas de paradas no programadas	Horas de parada por problemas en licuación	Pérdidas de producción	Costos de mantenimiento
2020	696	85	31,5 ton de cloro líquido 66 ton de Hidróxido de sodio	\$32188
2021	192	0	0 ton de cloro líquido 0 ton de hidróxido de sodio	-

Como se observa en la tabla 14 se ha logrado reducir las horas de paradas no programadas en la unidad a 0 horas que se traducen en 0 pérdidas de producción. Sin embargo, debido a los problemas suscitados en diciembre del 2020, el costo de mantenimiento a las bombas dañadas en ese tiempo sumó una cantidad monetaria de \$32.188. Luego, no se suman costos por mantenimientos correctivos realizados por problemas en la unidad.

CAPITULO 4

4.1. Conclusión

Como se describe al inicio del presente proyecto, la metodología se desarrollo según los objetivos planteados. Los resultados del trabajo realizado en la unidad de licuación se resumen en las siguientes conclusiones:

- Se levanta la información pertinente de los equipos del proceso, se da a conocer las funciones de cada uno de ellos y la importancia que tienen cada uno de ellos dentro de la unidad.
- Mediante el análisis de modo y efecto de falla se destaca la criticidad de los equipos de acuerdo con el impacto que tendrán los posibles modos de error sobre la empresa ya sea de manera económica, productiva o de seguridad.
- Las mejoras implementadas de enero a julio son las responsables de optimizar la disponibilidad de los equipos para disminuir las horas de paros no programados de la unidad de licuación de 2,32 a 0,8% que equivale a una reducción del 65% de horas, es decir, más del 20% que se tenía provisto en los objetivos de este proyecto.
- Se logra reducir a cero horas de paros por problemas en la unidad hasta julio del 2021, sin embargo, es posible seguir mejorando la disponibilidad de los equipos con una mayor inversión en ingeniería ya que existen controles manuales que pueden automatizarse.

4.2. Recomendaciones

- Las capacitaciones sobre la unidad de licuación hacia el personal deben ser continuas. Conocer el proceso es la base para la correcta operación de los equipos.
- Se debe mantener documentado el proceso para que en futuras ocasiones sirva de base para la implementación de cambios en la unidad.
- Se debe involucrar al personal operativo en la evaluación e implementación de las mejores según los problemas que se vayan presentando ya que son las personas que tienen mayor contacto con los equipos. Las ideas y los análisis realizados por parte de ellos fueron de suma relevancia para el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Otero J. (2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento*. Tecnología, Ciencia, Educación vol. 25, núm. 1, 15-26.
- Bollaín, M. (2018). *Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso*. . Diaz de Santos.
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones, estrategia y análisis*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Education.
- Martínez, C. (2004). *Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de una línea de manufactura para juguetes*. Nuevo León, México: Universidad autónoma de Nuevo León.
- Mosquera-Artimonov J., A. I. (2014). Diagnóstico del proceso de inspección mediante índices de capacidad. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*.
- Parra C., G. A. (2021). *Caso de estudio: Técnica de Análisis Causa Raíz (RCA.RISK.V1) y Riesgo aplicada en una línea de envasado de cerveza. Técnica de Análisis Causa Raíz*.
- Salazar, D., Mosquera, M., Suarez, N., & Mendoza, J. (s.f.). *Importancia de la herramienta AMEF en los procesos industriales*. Cauca: Fundación Universitaria de Popayán.