



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diagnóstico y propuesta de
mejora para el mantenimiento
preventivo de equipos de
lubricación por niebla de
Grupo SICELUB LUBRITECH**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Industrial

P R E S E N T A

Livia Fernanda Vázquez González

DIRECTORA DE TESIS

M.I. Verónica Olvera Rodríguez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025

Contenido

INTRODUCCIÓN	4
Problemática	5
Objetivo General	5
Objetivos específicos	5
MARCO TEÓRICO	6
Mantenimiento industria petroquímica.....	6
Mantenimiento preventivo	6
Curso de Seguridad Industrial	7
Análisis de procesos	8
Mapa de valor.....	9
Metodología Lean.....	10
Los 9 desperdicios según la Metodología Lean	10
Metodología 5s.....	11
Estudio del trabajo	12
Diagrama Hombre/Máquina	12
Layout	13
Diagrama de Ishikawa	13
Seguridad Industrial.....	14
Higiene Industrial	16
Iluminación	17
Ruido Industrial	18
Ergonomía	19
Equipo de protección personal.....	20
Curso de Auditor interno dentro de la empresa	21
Simulación	22
SIMIO	25
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE NIEBLA DE ACEITE.....	26
Lubricación por niebla	26
Componentes del suministro de aire de entrada.....	28
Proceso de suministro y control de aceite	29
Componentes generadores de niebla de aceite.....	31

Sistema de control y monitoreo operativo	32
Unidad de respaldo o consola auxiliar	33
CASO DE ESTUDIO	35
Visita a Complejo Petroquímico	36
Diagramas de Proceso de mantenimiento preventivo de Lubricación por Niebla SSV.....	39
Mantenimiento de la caja azul dentro de la consola de niebla principal.....	46
Mantenimiento del filtro principal	49
Limpieza de generador auxiliar	51
Mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar y filtro exterior de consola principal	53
Reinicio de consola principal	56
Observaciones generales registradas en la auditoría.....	60
Propuestas de mejora	60
SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO	66
Análisis de resultados	78
CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS.....	83

INTRODUCCIÓN

La industria petroquímica desempeña un papel clave en el crecimiento y desarrollo de diversos sectores económicos, como el automotriz, textil, transporte, plásticos, químico y farmacéutico, entre otros. Para asegurar su eficiencia y seguridad, es fundamental implementar estrategias de mantenimiento efectivas. El mantenimiento preventivo se realiza en intervalos establecidos, independientemente del estado del equipo, con la finalidad de evitar fallas en él.

En este contexto, las auditorías representan una herramienta esencial, ya que permiten evaluar el estado actual de los sistemas operativos, identificar oportunidades de mejora y garantizar el cumplimiento de normativas y estándares de calidad.

En este trabajo se presenta la verificación de la implementación de los procedimientos según los manuales existentes de los procedimientos establecidos previamente por la empresa.

La responsabilidad asignada dentro de esta visita consistió en realizar una auditoría para analizar minuciosamente el proceso operativo que se lleva a cabo en el mantenimiento preventivo del sistema de lubricación por niebla, con el fin de identificar posibles ineficiencias y presentar un plan para optimizar el proceso.

Este procedimiento y análisis se centrará específicamente en el *Modelo SSV*, el cual está regulado bajo la ISO 9001. Apegado con el compromiso de la organización de mantener y optimizar la funcionalidad de los sistemas de lubricación por niebla, asegurando un desempeño eficiente respaldado por estándares de calidad superiores y las normas específicas por las cuales está regulada y certificada la empresa, para este caso en específico es la ISO 9001.

En el presente trabajo se describe la auditoría realizada al complejo petroquímico de Cangrejera ubicado en Coatzacoalcos, Veracruz, a través de la cual se identificó la necesidad de analizar el procedimiento actual que se lleva a cabo en el centro petroquímico de Cangrejera para realizar el mantenimiento a una máquina generadora de niebla, dicho proceso ha sido documentado y analizado detalladamente con el objetivo de evaluar su eficiencia operativa, condiciones ergonómicas y posibles áreas de mejora. A partir del análisis se realizarán propuestas de mejora que permitan mejorar el procedimiento, reduciendo tiempos, movimientos innecesarios y así como la mejora de la ergonomía y el desempeño del operario.

Con ayuda del software de simulación SIMIO se lleva a cabo una simulación detallada del proceso observado durante la visita al centro petroquímico, con la finalidad de fortalecer y validar las propuestas de mejora. Se generaron 6 simulaciones del proceso actual y 6 del proceso con las propuestas de mejora con base en los tiempos y secuencias observadas durante la visita. Esta herramienta sirve para verificar y validar los cambios propuestos, comparando el sistema antes y después de su implementación.

Problemática

A partir de una auditoría realizada al Complejo Petroquímico de Cangrejera, en Coatzacoalcos, Veracruz, se identificaron diversas ineficiencias dentro del proceso de mantenimiento preventivo del equipo de lubricación por niebla marca LubriMist modelo SSV. Entre las principales problemáticas se encuentran movimientos repetitivos y traslados innecesarios, desorden en las estaciones de trabajo, tiempos muertos, posturas inseguras y exceso de materiales mal organizados. Estas condiciones no solo afectan la productividad y eficiencia del proceso, sino que también incrementan el riesgo de accidentes laborales. Además, el manual de mantenimiento carece de tiempos estandarizados de ejecución y de un diagrama de flujo que facilite la comprensión secuencial del procedimiento, lo que dificulta su correcta implementación.

Objetivo General

Realizar una auditoría exhaustiva y estudio de trabajo en el proceso de mantenimiento preventivo del equipo de lubricación por niebla LubriMist SSV instalado en la planta petroquímica de Cangrejera de PEMEX, con el propósito de realizar una evaluación integral de las prácticas de mantenimiento actuales, identificación de las áreas de mejora, planteamiento de estrategias de mejora en la eficiencia operativa para asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad de acuerdo a la certificación ISO 9001 y a las normas de seguridad establecidas.

Objetivos específicos

1. Revisión exhaustiva de los manuales de procedimientos que enlistan los pasos a seguir para llevar a cabo cada proceso que se realiza dentro de los centros petroquímicos y de las refinerías, para llevar a cabo los servicios correspondientes, estos manuales están elaborados de acuerdo con la certificación ISO-9001.
2. Realizar una auditoría exhaustiva detallada dentro del centro petroquímico de Cangrejera del mantenimiento preventivo del equipo de lubricación por niebla Lubrimist SSV con el objetivo de identificar puntos de mejora.
3. Evaluar la efectividad de las técnicas y herramientas utilizadas en el procedimiento de mantenimiento preventivo de equipos de lubricación por niebla, incluyendo la inspección de los equipos mediante estudio de métodos y medición del trabajo.
4. Realizar el mapeo del proceso de mantenimiento preventivo, representando gráficamente cada etapa.
5. Analizar el cumplimiento de los estándares de seguridad y normativas que son aplicables dentro de estos centros petroquímicos, asegurando el cumplimiento de los protocolos establecidos para proteger la integridad del personal y salvaguardar el equipo y la infraestructura de la empresa.
6. Realizar propuestas de mejora para implementar un método más eficiente al realizar el

mantenimiento preventivo, con el objetivo de reducir los tiempos de inactividad y con un enfoque en mejorar las prácticas ergonómicas del operario.

7. Simular el proceso de mantenimiento actual y propuesto del proceso de mantenimiento preventivo del equipo de lubricación por niebla.

MARCO TEÓRICO

Mantenimiento industria petroquímica

En el Manual de Administración del mantenimiento dirigido por Pemex define al mantenimiento como:

“Mejoramiento permanente y efectivo del equipo o maquinaria con el apoyo y participación del personal técnico que conforma el área de cualquier industria” (Amaya, M. A., 2002)

El mantenimiento de cualquier planta industrial es fundamental para garantizar la seguridad, eficiencia operativa y la sustentabilidad de procesos productivos que se encuentran dentro de cualquier industria. En este caso en una industria petroquímica, manejan sustancias inflamables y peligrosas, por lo que cualquier falla puede causar consecuencias graves, desde pérdidas económicas hasta impactos ambientales, por lo tanto el mantenimiento preventivo y correctivo son esenciales para minimizar el riesgo de accidentes, optimizar costos operativos y asegurar la continuidad de operaciones, este tipo de mantenimiento es fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los procesos productivo.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es la actividad humana desarrollada en equipos, instalaciones o construcciones con el fin de garantizar que la calidad del servicio que estos proporcionan continua dentro de los límites establecidos, es decir, es el conjunto de actividades que se llevan a cabo para mantener los equipos en buen estado y evitar fallas (Amaya, M. A., 2002). Este tipo de mantenimiento es fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los procesos productivos.

En un sector como el petroquímico, los equipos trabajan bajo condiciones extremas, altas presiones, temperaturas elevadas y exposición a sustancias químicas corrosivas, por lo cual este tipo de mantenimiento contribuye a prolongar la vida útil de los activos físicos y a mantener la producción de las plantas sin interrupciones. Contribuye también en la reducción de costos operativos, ya que las reparaciones planeadas tienen menor costo que las correcciones de emergencia, de igual forma este tipo de mantenimiento permite a las empresas, en este caso a

PEMEX, cumplir con las normativas internacionales de seguridad y medio ambiente, minimizando riesgos de derrames, explosiones o emisiones de contaminantes que pudieran generar por desgaste.

Curso de Seguridad Industrial

Para los trabajadores de la industria petrolera y del gas es indispensable estar capacitados en seguridad industrial, específicamente en plantas de trabajo, plataformas petroleras, refinerías o centros petroquímicos.

Rigpass (Rigging Up for Safety) es un programa de capacitación el cual proporciona los conocimientos y habilidades necesarios para realizar las tareas de manera segura y eficiente, minimizando así el riesgo de accidentes y lesiones en el lugar de trabajo.

Los temas fundamentales en este curso son los siguientes:

1. Seguridad General Industrial. Identificación de riesgos, elaboración de análisis de seguridad, implementación de medidas preventivas y simulacros
2. Equipo de protección personal. Selección adecuada, colocación correcta, inspección y mantenimiento de equipo de protección personal.
3. Comunicación de riesgos. Creación de hojas de seguridad, interpretación de etiquetas, señalización de áreas peligrosas y capacitación sobre sustancias químicas utilizadas en el trabajo.
4. Salud ocupacional y primeros auxilios. Prácticas de ergonomía, simulaciones de reanimación cardiopulmonar (RCP), manejo de heridas y control de hemorragias en escenarios de emergencia.
5. Procedimientos de trabajos especiales. Bloqueo y etiquetado de energía y uso de herramientas eléctricas.
6. Seguridad, protección y combate de incendios. Uso de extintores, simulacros de evacuación, manejo de hidrantes, entrenamiento en detección de fuego y evaluación de riesgos de incendio.
7. Manejo de materiales inflamables y explosivos. Capacitación en almacenamiento correcto, manipulación de cilindros de gas, transporte seguro y procedimientos de respuesta ante fugas o explosiones.
8. Control de fugas y materiales peligrosos. Práctica de barreras de contención, uso de absorbentes, trajes especiales y monitoreo de atmósferas en áreas contaminadas.
9. Manejo de residuos. Clasificación de residuos, segregación de peligrosos y no peligrosos, etiquetado correcto y simulación de procedimientos de disposición final.
10. Respuesta a emergencias. Simulacros de evacuación, uso de equipos de comunicación, formación de brigadas y atención inmediata a accidentes.
11. Trabajo en Alturas/Rescate en alturas. Prácticas con arneses, instalación de líneas de vida, descenso controlado y técnicas de rescate con cuerdas en situaciones reales.

12. Espacios confinados. Simulación de ingreso seguro, monitoreo de gases, uso de equipos respiratorios autónomos y ejercicios de rescate en espacios reducidos.

En particular el curso impartido en la empresa SICELUB se realizó con la finalidad de que los participantes adquieran los conocimientos necesarios para realizar visitas a plantas petroquímicas y petroleras de PEMEX con el objetivo en el centro de capacitación "La Posta" ubicado en Lote 14 Granjas agrícolas militares, Tepojaco, 43823 Hidalgo. El cual tuvo una duración de 4 días cubriendo todos los temas antes mencionados. En la figura 1 se presentan las diferentes actividades llevadas a cabo. De las cuales se pueden destacar prevención de incendios, control de fugas y materiales peligrosos.



Figura 1 Actividades en el curso de Rigpass

Análisis de procesos

Para comprender y mejorar la eficiencia de los procesos se sigue una metodología que consiste en descomponer un proceso en sus componentes clave, identificar las actividades realizadas y las relaciones entre ellas, y evaluar su desempeño.

El análisis de procesos permite identificar cuellos de botella, ineficiencias y oportunidades de mejora, lo que resulta fundamental para lograr una gestión más precisa y efectiva, con este las empresas pueden rediseñar los procesos con tecnología digital, herramientas y personal con el

objetivo de simplificar la forma en que se trabaja con el menor coste de propiedad. También puede utilizarse para identificar problemas en la organización, así como para descubrir oportunidades para mejorar la eficiencia operativa, el servicio y la experiencia de cliente, incluyendo donde se aplica la automatización inteligente de proceso (Arbós, L. C. 2017)

La metodología de análisis de procesos de acuerdo con la metodología de (Arbós, L. C., 2017) se desglosa por los siguientes pasos:

1. Identificación del proceso: En este paso se define el proceso a analizar, incluyendo sus objetivos, entradas, salidas y las partes involucradas.
2. Mapeo del proceso: Se crea un diagrama que representa visualmente el flujo de trabajo del proceso, identificando todas las actividades, decisiones y flujos de información.
3. Recopilación de datos: Se recopila toda la información relevante sobre el proceso, como tiempos de ciclo, costos, errores y cualquier otro dato que pueda ayudar a comprender su rendimiento.
4. Análisis de datos: Se examinan los datos recopilados y el flujo de trabajo del proceso para empezar con la identificación de áreas de mejora, ineficiencias o problemas potenciales.
5. Identificación de mejoras: Se proponen y evalúan soluciones para abordar los problemas identificados durante el análisis, pueden ser cambios en el flujo de trabajo, la implementación de nuevas tecnologías o la reasignación de recursos.
6. Implementación: Se llevan a cabo las mejoras propuestas, lo que puede implicar cambios en los procedimientos, la capacitación del personal o la implementación de nuevas herramientas o sistemas.
7. Evaluación continua: Se monitorea el proceso después de implementar las mejoras para asegurarse de que estén teniendo el impacto deseado y se ajustan según sea necesario o de ser el caso no implementar las mejoras de manera permanente.

Mapa de valor

De acuerdo con Beteta, L. P. (2006). el mapa de valor es una herramienta que nos permite desarrollar un mapa de flujo de valor de las actividades de una empresa, brinda una representación visual y detallada de todas las actividades involucradas en la creación de un producto o servicio, así como nos permite identificar desperdicios y actividades que no agregan valor al cliente, optimizando el proceso para aumentar la eficiencia y calidad del producto. Para utilizar esta metodología es necesario conocer detalladamente la situación actual de la empresa en términos de procesos, procedimientos, normas y políticas.

Se define el valor como el producto, servicio o actividad por el cual el cliente esta dispuesto a pagar, y en cuando a desperdicio se refiere a toda actividad que consume recursos sin agregar ningún valor al producto.

Este procedimiento se compone de cuatro pasos principales para llevarse a cabo:

1. Elección de la familia de productos que serán analizados durante el proceso de producción, con familia de productos se refiere a aquel grupo de productos que pasan por procesos similares y equipos comunes.
2. Mapeo del estado actual, con este se describe de forma visual los flujos de información, materiales, inventarios y los tiempos de entrega o de operación
3. Mapeo de un estado a futuro al que se quisiera llegar
4. Definición e implementación de un plan de trabajo con las actividades necesarias para que se logre la mejora continua

Metodología Lean

SOCCONINI, L. (2019) dice que la metodología Lean se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, este busca la eliminación de actividades que no agregan valor al proceso, pero sí costo y trabajo mediante la identificación de algún desperdicio que esté entorpeciendo o alentando el proceso.

Los 9 desperdicios según la Metodología Lean

Este análisis de desperdicios es fundamental en la metodología Lean, los 9 desperdicios son una herramienta clave para identificar áreas de mejora en la producción, promoviendo la eficiencia, calidad y reducción de costos., identificando las actividades que no generan valor en nuestros procesos y son los siguientes:

1. Defectos: Se refiere a errores de servicio, trabajo incorrecto
2. Sobreproducción: Producir más de lo que se necesita
3. Espera: Tiempo muerto al esperar por aprobaciones, insumos, papelería copias, etc
4. Talento de la gente: Cuando a las personas no se les explota su talento
5. Transporte: Transportar algo por diferentes lugares de la compañía
6. Inventario: Abastecimiento de material o información en exceso
7. Movimiento: Cualquier movimiento de personal, papel, intercambio electrónico, que no agregue valor al producto, son movimientos innecesarios y repetitivos.
8. Reproceso: Hacer más trabajo o esfuerzo necesario.
9. Priorización: Cambiar de orden de importancia o urgencia a las tareas que se necesitan realizar.

Esta metodología se basa en descubrir continuamente oportunidades de mejora dentro de las empresas, identificando y eliminando desperdicios que, aunque difíciles de detectar, siempre estarán presentes.

Metodología 5s

El método de las 5S es una herramienta de gestión originada en Japón en los años 60 dentro del sistema de producción de Toyota, su propósito principal es crear un ambiente de trabajo ordenado, limpio y seguro, promoviendo la mejora continua y optimizando las condiciones laborales, esto con la finalidad de lograr estándares de calidad y de los servicios requeridos.

Los objetivos principales de esta filosofía son:

- Mejorar las condiciones de trabajo asegurándose que estos sean limpios y seguros
- Aprovechar correctamente los espacios físicos, para lograr que sea un lugar ordenado, de fácil manipulación y ubicación de los diferentes materiales
- Mejorar la imagen ante clientes
- Desarrollar una mentalidad de mejora continua
- Mejorar la seguridad, el clima laboral, la motivación del personal, calidad, eficiencia y por lo tanto la competitividad de la empresa.

De acuerdo con SOCCONINI, L. (2019) la metodología 5s se divide en cinco fases, conocidas por las iniciales de 5 palabras en japones que son:

1. Seiri (Seleccionar): Retirar los artículos que no se necesitan en el área de trabajo y deshacerse de ellos
2. Seiton (Ordenar): Ordenar los artículos necesarios, estableciendo lugares específicos, de modo que se puedan ubicar y utilizar fácilmente
3. Seiso (Limpiar): Eliminar la suciedad y mantener el área de trabajo limpia, de tal manera no hay polvo en los pisos, máquinas y equipos
4. Seiketsu (Estandarizar): Lograr que los procedimientos, prácticas y actividades logrados en las tres primeras etapas se elaboren conscientemente y de manera regular para asegurar un alto estándar de limpieza y organización en el área de trabajo.
5. Shitsuke (Seguimiento): Entrenar al personal para que las actividades que se propongan después de este análisis se conviertan en un hábito, manteniendo correctamente los procesos generados por el compromiso de todo el personal.

Las primeras tres etapas de este procedimiento se les denomina fase de ejecución o activa y las siguientes 2 se les denomina fase afectiva o de consolidación.

Esta metodología busca optimizar el entorno de trabajo, promoviendo orden, limpieza y disciplina, creando espacios eficientes y seguros, promoviendo la realización de actividades fluidas y productivas, reduciendo desperdicios y mejorando la calidad de los procesos. Al implementar 5s, se fomenta una cultura de trabajo organizada y sostenible que facilita la detección de problemas y potencia la mejora continua.

Estudio del trabajo

García Criollo (2005) define al estudio del trabajo como una disciplina que se enfoca en analizar, optimizar y establecer métodos de trabajo eficientes, así como en medir el tiempo requerido para realizar actividades, su objetivo principal es incrementar la productividad y reducir el uso innecesario de recursos, mejorando la eficiencia de los procesos, a través del uso de técnicas como el estudio de métodos, el cual analiza y diseña los procedimientos de trabajo, medición de trabajo, estableciendo estándares de tiempo para realizar las tareas de manera óptima.

Diagrama Hombre/Máquina

Una de las herramientas empleada en estudio del trabajo es el diagrama hombre máquina, el cual permite visualizar y analizar la interacción entre el operario y el equipo.

García Criollo (2005) Define al diagrama hombre/máquina como la representación gráfica que representa la secuencia de actividades en que intervienen el operario y una máquina en un proceso productivo. Este diagrama nos permite conocer el tiempo invertido por los hombres y el utilizado por las máquinas, es decir se puede determinar la eficiencia de ambos con el fin de aprovechar los recursos al máximo.

Este proporciona una visión clara del tiempo invertido en cada tarea, así como de los tiempos de espera, preparación, limpieza y ejecución, con la finalidad de determinar la eficiencia de los operativa ya que permite identificar posibles cuellos de botella y tiempos muertos que pueden ser optimizados. El diagrama se utiliza para estudiar, analizar y mejorar una sola estación de trabajo a la vez.

En este diagrama el tiempo de trabajo del hombre se representa por una línea vertical continua, cuando hay un tiempo muerto o tiempo perdido se representa con una línea discontinua. A la derecha del diagrama se coloca la gráfica de la máquina(s), con una línea vertical continua es tiempo de actividad y discontinua lapsos inactivos. Los tiempos de preparación y descarga de máquinas se representan por una línea punteada, ya que las máquinas no están en operación. Finalmente se coloca el tiempo total del trabajo del hombre, tiempo de ocio y tiempo total muerto de la máquina, así como también se calculan los siguientes porcentajes de utilización:

Ciclo total del operador= preparar + hacer + retirar

Ciclo total de la máquina= preparar + hacer + retirar

Tiempo productivo de la máquina= hacer

Tiempo improductivo del operador= espera

Tiempo improductivo de la máquina= ocio

$$\text{Porcentaje de utilización del operador} = \frac{\text{Tiempo productivo del operador}}{\text{Tiempo del ciclo total}}$$

$$\text{Porcentaje de la máquina} = \frac{\text{Tiempo productivo de la máquina}}{\text{Tiempo del ciclo total}}$$

Pasos para realizarlo

1. Seleccionar la operación que será diagramada, escoger operaciones importantes desde los puntos de vista
 - a. Costosas
 - b. Repetitivas
 - c. Operaciones que causan dificultades en el proceso
2. Determinar detalladamente dónde empieza y dónde termina el ciclo que se examinará
3. Observar la operación varias veces para dividirla en sus elementos e identificar estos claramente
4. Una vez identificados, se realiza la medición del tiempo de duración de cada uno
5. Con los datos recabados, se construye finalmente el diagrama.

Dicho diagrama nos sirve para identificar y reducir tiempos muertos en la interacción entre el operario y la máquina, optimizando el uso del tiempo y mejorando la eficiencia del proceso.

Layout

En Lean Manufacturing el término Layout hace referencia a la disposición física de los recursos, equipos y estaciones de trabajo en una planta de producción o espacio laboral.

Según Socconini (2019) en Lean Manufacturing Paso a paso, el layout se organiza para facilitar los procesos de producción continua, de modo que cada estación de trabajo está estratégicamente ubicada para soportar el siguiente paso en la línea productiva.

El layout tiene como objetivo observar el proceso para poder reducir los desperdicios asociados al movimiento y transporte innecesarios, además de fomentar un entorno organizado que soporte la producción just in time, un buen diseño de layout contribuye a:

- Reducir los tiempos de ciclo, eliminando traslados innecesarios de materiales
- Optimizar el espacio y maximizar la capacidad operativa de la planta
- Facilitar el flujo de producción evitando cuellos de botella y promoviendo un flujo continuo
- Aumentar la seguridad laboral al reducir la congestión y mejorar la accesibilidad.

Es importante destacar que el layout se ajusta constantemente a las necesidades cambiantes del proceso y demanda del mercado, fomentando la filosofía de mejora continua.

Diagrama de Ishikawa

En Gutierrez Pulido H, (2009) se define el diagrama de Ishikawa también conocido como causa-efecto es una herramienta gráfica fundamental en el análisis de problemas, ya que establece una relación entre el problema o efecto de él y los factores o causas que lo generan. La importancia de este diagrama radica en su capacidad de facilitar un análisis detallado de las diversas causas que influyen en el problema a solucionar.

El método más común para construir el diagrama es el método de las 6 M, consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales que explicaré a continuación, estas ramificaciones son elementos que definen de manera global todo el proceso:

1. Mano de obra o gente: Es esencial evaluar si los trabajadores tienen el conocimiento necesario para desempeñar sus funciones, si conocen bien sus responsabilidades y las expectativas del trabajo. De igual forma se analiza si están siendo capacitados adecuadamente para realizar sus tareas de manera efectiva, dentro de esto se analiza la habilidad y la capacidad de los trabajadores para determinar si están cumpliendo eficientemente con su trabajo. Finalmente, en este rubro también entra la motivación de los trabajadores ya que esto impacta en el desarrollo de sus actividades y en la calidad del producto o servicio final
2. Métodos: Se evalúan los métodos utilizados ya que estos influyen en la eficiencia y efectividad del trabajo a realizar, al igual que la estandarización de procedimientos.
3. Máquinas o equipos: El rendimiento de las máquinas es aspecto clave para un buen proceso, se evalúa la capacidad de la máquina para cumplir con estándares de calidad y se analiza que existan mantenimientos preventivos que sean adecuados. Asimismo, se deben de considerar las herramientas utilizadas, que estas se encuentren en buen estado.
4. Material: Es esencial conocer cómo los distintos tipos de materiales impactan el proceso, en este rubro se evalúan los insumos que son utilizados durante el proceso
5. Mediciones: Es crucial asegurarse de que las mediciones necesarias estén disponibles para detectar o prevenir problemas. Las características medidas deben de estar definidas. En este rubro se encuentra también la calibración ya que esta debe de verificarse para evitar sesgos que puedan comprometer la calidad de los resultados.
6. Medio ambiente: Es importante identificar si hay ciclos que dependen de las condiciones ambientales, encontramos factores como la temperatura pueden impactar el rendimiento de los operarios y máquinas.

De cada categoría se desprenden ramificaciones más pequeñas que representan las causas específicas, esto permite desglosar las causas en niveles más detallados, lo que ayuda a identificar factores concretos y analizar de manera visual su causa dentro del proceso. A través de sus ramificaciones proporciona una estructura clara y lógica que facilita el análisis de problemas, ayudando a identificar las causas y de donde provienen.

Seguridad Industrial

La seguridad Industrial es una disciplina que involucra un conjunto de prácticas, procedimientos, normas y regulaciones cuyo objetivo es prevenir accidentes y enfermedades laborales, protegiendo la integridad de los empleados, así como para proteger las instalaciones y medio ambiente (Giraldo A, 2008). De acuerdo con González y Martínez (2020), la seguridad industrial se enfoca en la reducción de riesgos asociados con factores mecánicos, químicos y ambientales en el entorno laboral, promoviendo una cultura de seguridad proactiva.

Para poder regular la seguridad industrial existen normativas a nivel nacional e internacional. En México la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) establece normas oficiales mexicanas (NOM) para diversas industrias, dichas normas son regulaciones técnicas de carácter obligatorio que rigen varios aspectos de la seguridad y salud en el trabajo. Son aplicadas de manera obligatoria en todos los centros de trabajo que desarrollen actividades de producción, comercialización, transporte, almacenamiento o prestación de servicios, con la finalidad de (nombre, año):

1. Identificar peligros y evaluar riesgos: Identificando y controlando los riesgos inherentes a las actividades labores, promoviendo cultura de seguridad y garantizar el cumplimiento de normativas y regulaciones.
2. Proteger al medio ambiente: Previniendo y controlando los incidentes con impacto ambiental y asegurando la protección adecuada del medio ambiente.
3. Garantizar la conformidad y marco normativo: Las normas incorporan procedimientos para la evaluación de la conformidad, lo que da certeza jurídica a los particulares en los procesos de inspección y verificación en los centros de trabajo.

La seguridad industrial sirve para proteger la salud y el bienestar de los trabajadores, evitando accidentes y enfermedades laborales mediante la implementación de normas, prácticas seguras y controles de riesgo. Contribuyendo a crear un entorno laboral seguro, reduce pérdidas materiales y mejora la productividad al prevenir incidentes que puedan interrumpir las operaciones.

La implementación de normas es crucial para crear entornos de trabajo seguros. Estas normativas establecen requisitos claros y estándares rigurosos que ayudan a prevenir accidentes y enfermedades laborales, protegiendo a los trabajadores y mejorando la eficiencia operativa.

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-006-ASEA-2017 (ASEA,2018), establece especificaciones y criterios técnicos de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para instalaciones de almacenamiento de petrolíferos y petróleo, dicha norma tiene como objetivo establecer las especificaciones y criterios técnicos necesarios para garantizar la seguridad industrial, operativa y protección del medio ambiente en las instalaciones terrestres de almacenamiento de petrolíferos, petroquímica y petróleo, excluyendo el gas licuado de petróleo.

La NOM-019-STPS-2001, (STPS, 2001) establece requisitos para la constitución, integración,

organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo, dentro de los principales aspectos que toca la NOM-019-STPS-2011 encontramos:

1. Comisiones de seguridad e Higiene: Establece la obligación de formar comisiones dentro de las empresas para promover la seguridad y la salud en el trabajo
2. Funciones de las comisiones: Las comisiones son responsables de identificar riesgos, proponer medidas preventivas y coordinar actividades de seguridad e higiene
3. Participación de trabajadores en seguridad: Fomenta la participación de trabajadores en la identificación de riesgos y en la implementación de medidas de seguridad
4. Capacitación y sensibilización: capacitación continua de los trabajadores y la sensibilización sobre la importancia de la seguridad e higiene en el trabajo.

De acuerdo con el Protocolo de Seguridad de PEMEX las personas que entren a los centros petroquímicos deben de cumplir con las siguientes normas de seguridad e higiene durante el desarrollo de los trabajos en sus instalaciones:

1. Proveer equipo de protección personal, adecuado y herramientas seguras, incluyendo extintores, vehículos en buen estado, lámparas a prueba de explosión y equipos de maniobra revisados
2. Designar supervisiones de seguridad calificados para monitorear las operaciones, con un supervisor cada 25 trabajadores
3. Debe transportar al personal en vehículos adecuados, prohibiendo traslados a pie o en equipos no autorizados
4. Monitorear constantemente riesgos de explosividad, toxicidad y condiciones inseguras, se deben suspender actividades si lo solicita el personal de PEMEX
5. Está prohibido fumar, ingerir drogas, almacenar materiales inflamables y realizar excavaciones sin autorización
6. Mantener las áreas asignadas limpias y libres de escombros al finalizar los trabajos
7. Coordinar con PEMEX reuniones iniciales, reportes de seguridad y permisos diarios para el inicio de actividades
8. La obra no será considerada terminada hasta que el área esté limpia y en condiciones originales.

Higiene Industrial

La Higiene Industrial es la ciencia que protege la salud de los trabajadores del control del ambiente de trabajo. Encontramos que la Asociación Americana de Higiene Industrial (AIHA, por las siglas de American Industrial Hygiene Association) define a la higiene industrial como:

“Ciencia y arte dedicada a la anticipación, reconocimiento, evaluación, prevención y control de los factores ambientales o estresores que surgen en o desde el lugar de trabajo y que pueden causar enfermedades, deterioro de la salud y del bienestar o discomfort entre los trabajadores o

ciudadanos de la comunidad”

Es considerado un proceso de mejora continua orientado a gestionar una serie de riesgos mediante la anticipación, reconocimiento, evaluación y control de los agentes presentes en el Medio Ambiente Laboral, su objetivo principal es identificar, evaluar y mitigar agentes contaminantes y peligrosos que puedan afectar la salud de los empleados, principalmente enfocados en cuanto agentes que son físicos como el ruido y las vibraciones representan un riesgo que pueden incluir pérdida auditiva o trastornos, químicos como vapores, gases y polvos los cuales su exposición puede causar enfermedades crónicas y agudas como infecciones respiratorias, biológicos como virus, bacterias y hongos que son comunes en áreas como el sector sanitario que pueden causar infecciones serias en trabajadores y ergonómicos ya que involucra posturas inadecuadas o movimientos repetitivos que aumentan el riesgo de lesiones musculoesqueléticas

Para regular la Higiene Industrial, los marcos normativos juegan un papel clave, en México la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) promueve normas específicas para garantizar condiciones laborales seguras; A nivel internacional estándares como las ISO (ISO por las siglas International Organization for Standardization) y directrices de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) brindan los requisitos específicos para crear entornos de trabajo más seguros y saludables, alineando las prácticas de higiene industrial con respeto al medio ambiente.

La Higiene Industrial es crucial para garantizar un ambiente de trabajo seguro y saludable. Tanto la iluminación adecuada como el control de ruido juegan un papel fundamental en los centros de trabajo. Una iluminación adecuada no solo mejora la visibilidad y reduce la fatiga ocular, sino que también contribuye a la seguridad al prevenir accidentes.

Por otro lado, es crucial proteger la salud auditiva de los trabajadores cuando se encuentran en ambientes con ruidos altos.

Al integrar estrategias efectivas de iluminación y control de ruido, se generan entornos laborales óptimos, ya que minimizan riesgos y promueven el bienestar de los empleados.

Iluminación

De acuerdo con Mapfre, F. (1996), la iluminación industrial juega un papel crucial en la higiene industrial, facilitando la percepción espacial y contribuyendo significativamente a la eficacia, comodidad y seguridad en el trabajo. La importancia y la trascendencia de una correcta iluminación en los lugares de trabajo, radica en la capacidad para reducir enfermedades que afectan al sistema visual, mejorando así la salud y el bienestar de los trabajadores.

Es importante considerar la importancia de que los espacios laborales cuenten con una iluminación natural, debido a que esta no solo contribuye al ahorro energético, sino que ofrece beneficios en la reproducción cromática, estabilidad del flujo luminoso y tonalidad, además de

un impacto psicológico positivo al permitir contacto visual con el exterior. Sin embargo, puede ser complementada con luz artificial ya que la iluminación natural es variable e inconsistente.

Los sistemas de iluminación deberán estar diseñados para proporcionar una iluminación general suficiente en las condiciones más desfavorables de la luz natural, por lo tanto, se recomienda el uso de iluminación artificial que asegure una visibilidad óptima. Para lograr una combinación eficiente de luz natural y artificial, se recomienda emplear lámparas con una temperatura de color entre 4000 y 5000 grados Kelvin, adecuadas para tonalidades que armonicen con la luz natural.

Los sistemas de iluminación industrial se clasifican según la fuente de luz en las siguientes categorías:

1. Iluminación natural
2. Iluminación artificial
 - Iluminación general
 - Iluminación localizada
 - Iluminación combinada
 - Iluminación especial (Emergencias, señalización, decorativas, entre otras).

Los niveles mínimos de iluminación en los lugares de trabajo están regulados por la normativa vigente, específicamente la NOM-025-STPS-2008, que establece los requisitos mínimos de seguridad y salud en términos de iluminación, a continuación, en la Tabla 1 presenta los niveles de iluminación mínimos requeridos para diversos entornos de trabajo, conforme a esta normativa.

<i>Zona o parte del lugar de trabajo</i>	<i>Nivel Mínimo de Iluminación (LUX)</i>
Zonas de trabajo donde se ejecutan tareas con: Bajas exigencias visuales Exigencias visuales moderadas Exigencias visuales altas Exigencias visuales muy altas	100 200 500 1000
Áreas o locales: Uso ocasional Uso habitual	50 100
Vías de circulación Uso ocasional Uso habitual	25 50

Tabla 1. Niveles mínimos de iluminación (Mapfre, F., 1996).

Ruido Industrial

De acuerdo con Mapfre, F. (1996) el ruido industrial puede definirse como un sonido no deseado que afecta negativamente las actividades humanas en un entorno laboral. Si bien la distinción entre sonido y ruido es subjetiva, en un contexto industrial se considera ruido todo aquello que interfiera en la comunicación, la concentración o la salud de los trabajadores. El sonido, desde un punto de vista físico, es una vibración que se propaga a través de un medio elástico, como el aire, generando ondas acústicas que se perciben por el oído humano.

La Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, establece las condiciones de seguridad e higiene en centros de trabajo donde se genere ruido, esta nos indica niveles y tiempo de exposición permisibles por jornada de trabajo con la finalidad de evitar alteraciones de salud en trabajadores. A continuación, en la tabla 2 se definen los límites máximos permisibles de exposición.

Nivel dB	Tiempo
90 dB	8 horas
93 dB	4 horas
96 dB	2 horas
99 dB	1 hora
102 dB	30 minutos
105 dB	15 minutos

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de exposición (NOM-011-STPS-2001, 2001).

También se establece la protección requerida para poder trabajar expuesto a ciertos niveles de ruido, indica que todos los trabajadores expuestos a 85 dB(A) o mayores deben utilizar equipo de protección auditiva. Usualmente los niveles de ruido se miden en decibeles usando una escala de ponderación A, que identifica cómo son percibidos por nuestro oído.

Ergonomía

La ergonomía en griego se divide en dos “ergo” que significa trabajo y “nomos” que significa leyes de, entonces el significado literal de la palabra ergonomía es “las leyes del trabajo”. La ergonomía es una disciplina científica que estudia la relación entre los seres humanos y los elementos que componen su entorno de trabajo, estudia las formas en las que se puede ayudar a las personas a trabajar de manera eficiente y sin lesiones en su entorno. Su objetivo principal es diseñar y adaptar las condiciones laborales para mejorar la eficiencia, comodidad y bienestar

del trabajador, disminuyendo a la vez el riesgo de lesiones y aumentando el rendimiento general. (Mapfre, F. 1996).

Esta disciplina se basa en muchas otras como la fisiología que es el estudio de los organismos vivos y sus partes, la antropometría que estudia las medidas y proporciones del cuerpo humano y la biomecánica que estudia los movimientos que tiene un cuerpo vivo por lo tanto es fundamental comprender cómo funciona el cuerpo humano.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Asociación Internacional de Ergonomía han emitido recomendaciones y normativas para que las empresas implementen prácticas ergonómicas en sus espacios laborales, con el fin de promover la salud física y psicológica de los empleados.

Existen varios factores de riesgo en un entorno laboral que de no ser controlados pueden derivar en lesiones o enfermedades, los factores son los siguientes:

1. Movimientos repetitivos
2. Posturas forzadas
3. Manipulación de cargas
4. Factores psicosociales

Por lo tanto, la implementación de ergonomía en el campo laboral aporta numerosos beneficios, como reducir el riesgo de lesiones y enfermedades ocupacionales, aumenta la satisfacción laboral, eficiencia y la productividad.

Equipo de protección personal

Abrego, M. et al., (2000) describe el equipo de protección personal como elementos de uso individual destinados a brindar protección necesaria al trabajador frente a eventuales riesgos que puedan afectar su integridad durante el desarrollo de sus actividades laborales. La NOM-017-STPS-2008 establece los requisitos mínimos para la selección, uso y manejo del equipo de protección personal (EPP) en los centros de trabajo. El objetivo principal de esta norma es garantizar que los trabajadores estén protegidos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física. Es importante destacar de la norma los siguientes aspectos:

1. Selección del EPP: Los patrones deberán identificar y analizar los riesgos de trabajo a los que están expuestos los trabajadores y seleccionar el EPP adecuado en función de estos riesgos
2. Uso del EPP: Los trabajadores deben recibir capacitación adecuada sobre el uso correcto de este. Además, los patrones deben asegurarse de que el EPP esté en buenas condiciones y sea adecuado para el trabajador.
3. Manejo del EPP: Debe de ser revisado regularmente para asegurar su efectividad, incluyendo inspecciones periódicas, limpieza y mantenimiento adecuado.
4. Obligaciones del patrón: Los patrones tienen la responsabilidad de proporcionar el EPP

necesario y asegurarse de que los trabajadores lo usen correctamente, llevando a cabo registros de las inspecciones y el estado de los equipos de protección personal

5. Obligaciones de los trabajadores: Los trabajadores deben usar el EPP proporcionado y seguir las instrucciones de uso, también deben informar a sus patrones si el EPP está dañado o si necesitan un reemplazo.

La NOM-017-STPS-2008 es una norma que establece los requisitos para la selección y manejo del equipo de protección personal en centros de trabajo. Esta norma es aplicable a diversas industrias, incluyendo la petroquímica, y asegura que los trabajadores estén adecuadamente protegidos contra los riesgos laborales.

Curso de Auditor interno dentro de la empresa

Para la certificación ISO 9001 la empresa SICELUB LUBRITECH recibió un curso impartido por una empresa certificadora llamada Bullen, este tuvo una duración de dos días y representó una oportunidad de adquirir conocimientos en el ámbito de auditoría interna y la gestión de sistemas de calidad. Durante la capacitación se abordaron aspectos cruciales relacionados con la planificación y ejecución de auditorías internas, como la elaboración de informes, carpetas y gestión de hallazgos.

Esta capacitación se distinguió por su enfoque práctico, permitiéndonos comprender a todos los miembros de la empresa de manera integral los requisitos de cada una de las normas ISO en las que se está certificando la empresa, las cuales son las siguientes:

1. ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad
2. ISO 45,001: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo
3. ISO 29001: Sistemas de gestión de calidad para la industria del petróleo, petroquímica y gas
4. ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental.

La certificación bajo las normas antes mencionadas es fundamental para Grupo SICELUB Lubritech ya que, al brindarle diversos servicios a PEMEX, debe de garantizar la implementación de sistemas de gestión alineados con estándares internacionales de calidad, seguridad, medio ambiente y diversos requisitos específicos para la industria de petróleo y gas.

Al certificarse la empresa fortalece su competitividad y credibilidad ante industrias como PEMEX, lo que hace que la empresa tenga un valor agregado y posicionándola como un proveedor confiable y altamente calificado en el mercado.

Dentro del curso de auditoría interna se me fueron proporcionados conocimientos acerca de estándares, normas, requisitos y técnicas de auditoría, recolección de datos, análisis, evaluación de riesgos, comunicación afectiva, hallazgos y cómo implementar recomendaciones para poder cumplir con los estándares normativos y profesionales, dentro del curso se profundizó la ética profesional que debemos de tener al momento de realizar una auditoría, es una base sólida para desempeñarse dentro de cualquier empresa como auditor interno contribuyendo a la mejora continua, la eficacia y la normatividad de los procesos organizacionales.

En la Figura 2 observamos la impartición del curso llevada a cabo en las instalaciones de la empresa. En el cual se realizaron diversos ejercicios prácticos para simular auditorías internas y ejemplificando el cómo se debe de estar preparado para una auditoría externa.



Figura 2. Curso de auditoría interna impartido por la empresa Bullen.

Simulación

Thomas H. Naylor (1982) define la simulación como:

“Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para descubrir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo”.

Por lo tanto, se entiende que es una herramienta analítica que permite representar y estudiar el comportamiento de sistemas reales mediante modelos computacionales, los cuales replican los procesos y dinámicas de un sistema, ya sea físico, social, industrial o económico, con el fin de analizar su desempeño sin necesidad de intervenir en el sistema real.

Existen varias características con base en las cuales podemos clasificar las simulaciones. Algunas de estas posibles clasificaciones son (Díaz, J.M. et al., 2013):

- Simulación estática: Es la representación de un sistema el cual no está basado en el tiempo
- Simulación dinámica: Es la representación de un sistema cuando evoluciona con el tiempo, considera los cambios de estado que ocurren a través del tiempo
- Simulación estocástica o probabilística: Es aquella en que una o más variables de entrada son aleatorias.
- Simulación Determinística: Es la representación de un sistema que no contiene absolutamente ninguna variable aleatoria, es decir sus variables de entrada son constantes, lo que produce variables de respuesta constantes
- Simulación continua: Es la representación de un sistema cuyo comportamiento cambia de forma continua en el tiempo.

- Simulación discreta: Es la representación de un sistema cuyo comportamiento cambia únicamente en instantes de tiempos concretos

El objetivo principal de la simulación es proporcionar información útil para la toma de decisiones, ya que permite explorar diferentes escenarios, evaluar el impacto de cambios en las variables clave y optimizar procesos, facilitando la identificación de cuellos de botella, la prevención de problemas potenciales, permitiendo también experimentar nuevas estrategias.

Según Coss Bu Raúl (1994) los pasos (Metodología) necesarios para llevar a cabo una simulación son:

1. Definición del problema. Se realiza un análisis preliminar del sistema a analizar, con el fin de determinar la interacción de éste con otros sistemas, las restricciones, las variables que interaccionan dentro de este, sus interrelaciones, medidas de efectividad todo esto para estudiar el sistema para poder obtener los resultados deseados.
2. Formulación del modelo. Definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo
3. Recolección de datos. Es importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados
4. Implementación del modelo en computadora. Se dice que lenguaje se utilizará o si se utilizara algún software de simulación, para poder procesarlo en computadora y obtener los resultados deseados
5. Validación. A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo en los datos animados al modelo.
6. Experimentación. Consiste en generar los datos deseados y realizar un análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
7. Interpretación. Se interpretan los datos que arroja la simulación y en base a esto se toman decisiones.

La metodología para recolectar, organizar y analizar los datos se menciona a continuación (Harrell et al., 2004):

1. Elaborar diagramas de flujo de la entidad o entidades de cómo se procesa y mueve la entidad a través del sistema, dentro de este paso se debe realizar una caracterización de los datos a recolectar, se deben categorizar los datos del sistema a ser modelado en
 - Estructurales: Involucran todos los objetos en el sistema a modelarse, describe básicamente el esquema o configuración del sistema, incluye elementos tales como entidades (productos, clientes, etc.), recursos (operadores, máquinas, etc.) y espacios físicos (áreas de espera, lugar de trabajo).
 - Operacionales: Explican cómo opera el sistema, cuándo, dónde y cómo los eventos y actividades tienen lugar. Consisten en la información del comportamiento acerca del sistema como asignaciones de ruta, horarios, comportamiento fuera del tiempo de servicio y asignación de recursos.
 - Numéricos: Proporcionan información cuantitativa (Tiempos entre arribos, tiempos

de las actividades y tiempo entre fallas)

El diagrama de flujo es una herramienta visual esencial para comprender, documentar y mejorar procesos, se utiliza la técnica para construir diagramas de transporte y flujo de trabajo (spaguetti).

2. Hacer supuestos respecto al flujo de la entidad o entidades conducentes al modelo: es la elaboración del primer modelo en donde suelen identificarse algunos datos faltantes o que no están bien definidos, particularmente respecto al flujo de la entidad, dichos datos pueden obtenerse mediante la recolección de datos faltantes directamente del sistema o haciendo suposiciones respecto a estos datos faltantes.
3. Identificar las fuentes de datos numéricos: existen dos criterios respecto a la decisión de si usar una fuente de datos, estos son:
 - Confiabilidad de la fuente, ya que está impacta directamente la validez del modelo
 - Accesibilidad ya que es un factor importante en la selección de la fuente.
4. Recolectar los datos numéricos: Los datos que generalmente se recolecta en esta etapa son:
 - Tiempos de arribo de las entidades al sistema
 - Porcentaje de veces que las entidades son enviadas a diferentes áreas de procesamiento a partir de un mismo origen
 - Tiempos de preparación de las actividades
 - Tiempo de ejecución de las actividades
5. Hacer supuestos respecto a los datos numéricos: Establecer estimaciones sobre ciertos parámetros y datos cuando no se dispone de información precisa o completa.
6. Análisis estadístico de los datos numéricos: Es necesario aplicar una serie de técnicas estadísticas que permiten establecer qué datos pueden ser usados, las pruebas que se le aplican a los datos numéricos son las siguientes:
 - Pruebas para comprobar que los datos pertenecen a la misma distribución
 - Medidas de tendencia central y dispersión para caracterizar los datos
 - Histogramas de frecuencias
 - Pruebas de independencia
 - Pruebas de bondad de ajuste
7. Documentar y aprobar los datos: Implica registrar detalladamente todas las fuentes de datos, describir su significado y cualquier manipulación realizada, este proceso asegura la validez y confiabilidad de los datos mediante la verificación y validación.

La simulación es una herramienta fundamental en el estudio del trabajo ya que permite analizar y optimizar procesos laborales mediante la representación virtual de actividades, recursos y tiempos involucrados. Según Harrel et. al (2004), esta técnica facilita la identificación de cuellos de botella, la evaluación de distintas configuraciones de trabajo y la mejora de flujos operativos sin intervenir físicamente en el sistema. De esta forma la simulación no solo apoya en la

planificación y organización del trabajo, sino que también en la toma de decisiones fundamentadas para incrementar la eficiencia y productividad del sistema.

La simulación enfocada en procesos es una herramienta clave para mejorar la gestión del mantenimiento en cualquier máquina (Law, et. al., 2007), es este caso enfocado al mantenimiento preventivo de la máquina generadora de niebla. Al realizar la simulación del proceso de mantenimiento preventivo, es posible identificar áreas de oportunidad con la finalidad de optimizar recursos, minimizar tiempos de inactividad y prever posibles fallas antes de que ocurran. A continuación, se describen los principales beneficios que la simulación aporta. (Harrell, 2004)

- Identificación de problemas. Permite detectar cuellos de botella o áreas ineficientes en el proceso
- Evaluación de estrategias. Comparar diferentes enfoques de mantenimiento sin riesgos operativos
- Reducción de costos. Optimiza la asignación de recursos y minimizar tiempos muertos.
- Seguridad. Simula condiciones peligrosas para implementar medidas preventivas antes de intervenir físicamente.

SIMIO

Una herramienta para la simulación de procesos es Simio por las siglas en inglés de Simulation with Intelligent Objects es un software avanzado para modelar, simular y realizar animación 3D basado en eventos discretos. Se caracteriza por ser software de simulación de tipo mixto o de doble paradigma, permitiendo el uso de objetivos y procedimientos, lo que convierte en una herramienta altamente flexible y adaptable para diversas industrias.

Una de las principales capacidades de este software es la integración con fuentes de datos en tiempo real, lo que posibilita la construcción de gemelos digitales, las cuales son representaciones virtuales de un objeto, proceso o sistema físico en tiempo real. Estos modelos anticipativos permiten analizar y optimizar sistemas logísticos, industriales y de servicios, promoviendo una mejor toma de decisiones.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE NIEBLA DE ACEITE

Lubricación por niebla

Grupo SICELUB Lubritech (2020) define la lubricación por niebla como un sistema de lubricación en el cual el aire comprimido, normalmente aire seco comprimido tomado del suministro de aire de la planta, es utilizado para atomizar el aceite, el cual es transportado por el aire dentro de un sistema de distribución de baja presión a los múltiples puntos de aplicación del lubricante, este tipo de lubricación se utiliza principalmente para automatizar la lubricación de bombas centrífugas, pequeñas turbinas de vapor y reductores de torres de enfriamiento; en las Industrias de la Refinación de Petróleo, Petroquímica y usado también en pocas ocasiones en, las Industrias Mineras, Generación de energía y siderúrgica.

Este método ofrece varias ventajas, como el menor consumo de lubricante (hasta un 70% menos en comparación con la lubricación por baño), baja fricción y temperaturas reducidas en los rodamientos, así como un menor desgaste de los componentes. Además, la presión positiva generada por la niebla ayuda a bloquear la entrada de contaminantes, mejorando así la longevidad y confiabilidad de la maquinaria, disminuyendo notablemente las fallas causadas por problemas de lubricación en rodamientos y sellos mecánicos. Fomenta la automatización de las tareas de lubricación, beneficiando plantas peligrosas como refinerías, reduciendo en más de 80% el tiempo de permanencia en planta de operadores de lubricación.

La niebla de aceite es una mezcla de partículas de aceite lubricante suspendidas en el aire. Está conformada por 1 parte de aceite por 200,000 partes de aire, las partículas que se obtienen miden de 1 a 3 micrones

Hasta ahora los sistemas instalados por SICELUB incluyen recuperadores de niebla residual, el cual consta de un sistema de recuperación de niebla con demisting (Figura 3), el cual consta de varios recuperadores de niebla que se encuentran colocados de manera sectorial en las plantas, esto con la finalidad de recuperar la niebla residual de 6-10 bombas cada uno.

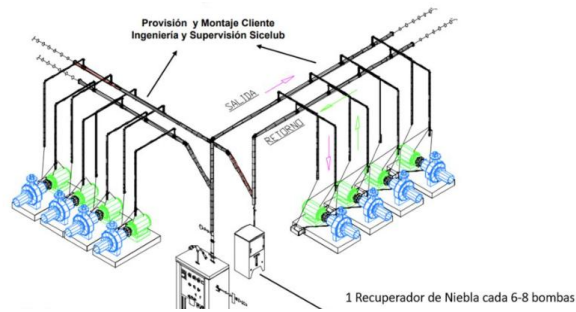


Figura 3. Sistema de recuperación de niebla con Demisting.

La Consola de niebla de aceite modelo SSV (Figura 4) se compone de cuatro segmentos básicos integrados que son:

1. El suministro de aire de entrada y sus controles, sensores y componentes asociados.
2. El suministro y depósito de aceite de entrada, sensores y componentes.
3. El cabezal generador de niebla y sus componentes de monitoreo.
4. El sistema de control y monitoreo de operación.



Figura 4. Consola principal Generadora de niebla Modelo SSV.

El suministro de aire es la fuerza motriz que genera la neblina de aceite y la lleva al punto de aplicación. El lubricante que se aplica a la maquinaria del usuario se proporciona a través del sistema de suministro de aceite y el depósito de aceite. El cabezal generador de niebla combina el aire y el aceite en neblina de aceite para proporcionar una fuente eficiente y centralizada de lubricación para todo tipo de maquinaria industrial. Los componentes de aire, aceite y niebla están integrados junto con un controlador basado en microcomputadora para proporcionar precisión y confiabilidad con capacidad de control y monitoreo.

Componentes del suministro de aire de entrada

A medida que se suministra aire al cabezal generador de niebla, se filtra, regula, calienta y monitorea continuamente. La instrumentación utilizada por la unidad de neblina de aceite para controlar el suministro de aire se muestra a continuación en la Figura 5.

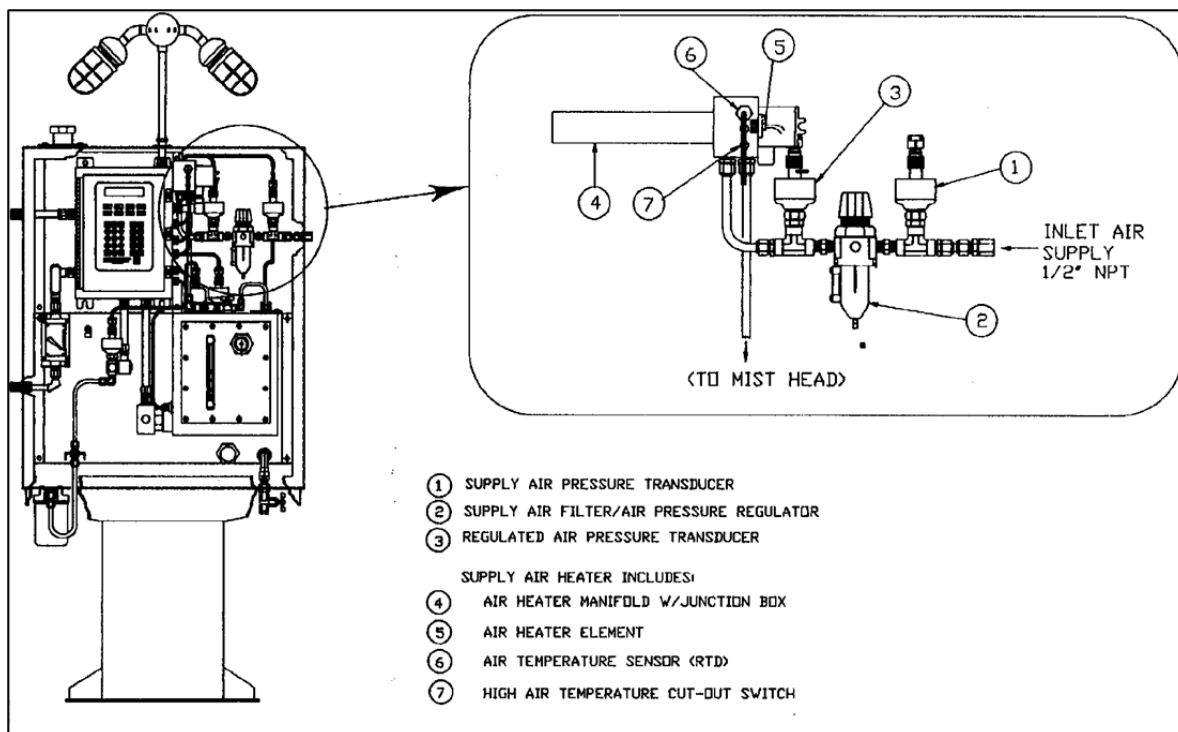


Figura 5. Componentes del sistema eléctrico.

Los siguientes puntos describen el funcionamiento del suministro de aire de entrada.

1. A medida que el aire ingresa al generador de neblina de aceite, la presión de suministro es monitoreada por el transductor de presión de aire de suministro. (1, Figura 5)
2. El transductor de presión de aire de suministro no solo monitorea, sino que también puede proporcionar una advertencia temprana si el suministro de aire es inadecuado, está restringido o falla.
3. Luego, el aire pasa a través de un regulador de presión de aire/fibra de aire integral (2, Figura 5) que filtra y controla el flujo de aire que se suministra al cabezal de niebla. Está

equipado con una válvula de drenaje de agua automática que se conecta al exterior del gabinete.

4. Girar la perilla de ajuste en la parte superior del regulador de presión de aire en el sentido de las agujas del reloj aumenta la cantidad de aire que se suministra al cabezal generador de niebla.
5. Al girar la perilla de ajuste en el sentido contrario a las agujas del reloj, se reduce la cantidad de aire. Este ajuste se usa en última instancia para ajustar y mantener la presión adecuada del cabezal de niebla.
6. A medida que los ajustes del flujo de aire se realizan con el regulador de presión de aire (2, Figura 5), los cambios resultantes son monitoreados por el transductor de presión de aire regulado (3, Figura 5). Este sensor monitorea el suministro de aire requerido por el cabezal de rocío para mantener la presión adecuada del cabezal de rocío. También está interconectado con el transductor de presión de niebla.
7. El aire ingresa al colector del calentador de aire (4, Figura 5) que alberga el elemento del calentador de aire (5, Figura 5), el sensor de temperatura del aire y el interruptor de corte de temperatura del aire alta (7, Figura 5).
8. El sensor de temperatura (RTD) controla el elemento del calentador de aire (encendido-apagado) a través del sistema de control y proporciona la señal de operación utilizada para la lectura de la temperatura del aire y las alarmas de temperatura del aire. La alarma de alta temperatura está interconectada con el calentador de aire. Si el sensor de temperatura del aire detecta una condición de temperatura alta, se activa una alarma de temperatura del aire y el calentador de aire se apaga hasta que la temperatura del aire desciende al ajuste de temperatura normal.
9. El interruptor de corte de alta temperatura del aire protege el calentador de aire contra el sobrecalentamiento. Si la temperatura del aire alcanza el ajuste del interruptor de corte por alta temperatura del aire, el calentador de aire se apaga y no se reiniciará hasta que la temperatura del aire se reduzca al ajuste de nivel normal y se presione la tecla "RUN". El aire sale del colector del calentador de aire y entra en el cabezal de niebla.

Proceso de suministro y control de aceite

1. El aceite se suministra en el cabezal generador de neblina desde el depósito de aceite ubicado dentro del gabinete de la consola de neblina de aceite. A medida que se consume el aceite, se proporciona una compensación intermitente de aceite a través de un control automático del nivel del depósito de aceite.
2. Se cuenta con un filtro giratorio de 10 micras (2, Figura 6) que filtra el aceite a medida que se bombea al depósito de aceite (6, Figura 6).
3. Se proporciona una válvula de bloqueo (1, Figura 6) en el lado de entrada del filtro para facilitar el mantenimiento del filtro de aceite. El flujo de aceite hacia el depósito está controlado por el solenoide de suministro de aceite. (4, Figura 6)
4. A medida que se consume aceite, el interruptor de nivel de aceite continuo (7, Figura 6) proporciona la señal de control para abrir la válvula solenoide de aceite, lo que permite

que el depósito se llene de aceite. Cuando el aceite se llena hasta un nivel preestablecido, el solenoide de aceite se desactiva

5. Un transductor de presión de suministro de aceite (3, Figura 6) controla la presión de suministro de aceite para detectar pérdida de presión o sobre presurización del suministro de aceite.
6. El depósito de aceite está dividido en dos compartimentos. El aceite se bombea al compartimiento más grande (5, Figura 6) que contiene el aceite a granel, la reserva de aceite. La parte inferior del compartimiento de nebulización (6, Figura 6) está elevada por encima de la parte inferior del compartimiento más grande antes mencionado. Hay un deflector extraíble entre los dos compartimentos. Cualquier agua o material extraño que pueda ser bombeado a través del filtro y hacia el depósito puede detectarse a través de la mirilla de ojo de buey del depósito (13, Figura 6) y drenarse.
7. Los dos compartimentos del depósito están lastrados internamente para que se mantenga el mismo nivel de aceite en ambos compartimentos, y se puede ver en el indicador de nivel de aceite (12, Figura 6)
8. El nivel de aceite es monitoreado por el interruptor de nivel continuo (7, Figura 6) que proporciona la señal al controlador para la lectura del nivel de aceite y alarmas además de la señal de control para el solenoide de aceite. Los enclavamientos internos están diseñados en los sistemas de control que bloquean la alimentación al solenoide de aceite. Cuando existe una condición de nivel de aceite alto o al calentador de aceite cuando existe una condición de nivel de aceite bajo.
9. El compartimiento generador de niebla más pequeño (6, Figura 6) alberga el calentador de aceite (8, Figura 6), el sensor de temperatura del aceite (10, Figura 6) y el interruptor de corte por temperatura alta del aceite (9, Figura 6).
10. El sensor de temperatura (RTD) controla el elemento del calentador de aceite (encendido-apagado) a través del sistema de control y proporciona la señal utilizada para la lectura de la temperatura del aceite y el control de temperatura de aceite alta y baja. Si el sensor de temperatura del aceite detecta una condición de alta temperatura, se activa una alarma de temperatura del aceite y el calentador de aceite se apaga hasta que la temperatura del aceite desciende al ajuste de temperatura normal.
11. El interruptor de corte por alta temperatura del aceite protege el calentador de aceite contra el sobrecalentamiento. Si la temperatura del aceite alguna vez alcanza el ajuste del interruptor de corte por alta temperatura del aceite, el calentador de aceite se apaga y no se reiniciará hasta que la temperatura del aceite baje al ajuste normal y se presione la tecla "RUN".
12. El depósito de aceite también está equipado con una válvula de alivio de presión (11, Figura 6), una válvula de drenaje tapada (14, Figura 6) y un puerto de llenado de aceite de vertido manual (15, Figura 6).

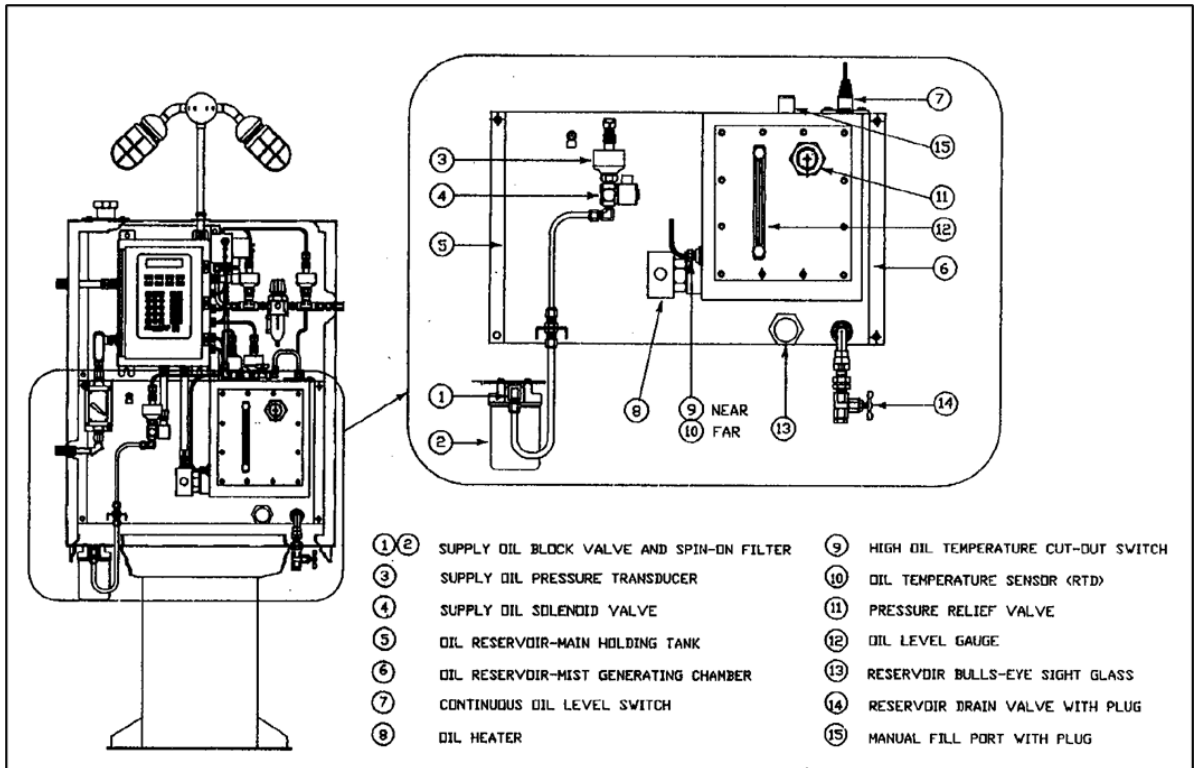


Figura 6. Componentes de suministro de aceite de entrada.

Componentes generadores de niebla de aceite

Los siguientes puntos describen el funcionamiento de los componentes generadores de niebla de aceite.

1. Los suministros de aire y aceite se combinan para formar la neblina de aceite que proporciona lubricación a varios elementos de la maquinaria. La densidad de la neblina o la proporción de aceite a aire se controla y monitorea antes de salir de la salida del generador de neblina de aceite. Los componentes generadores de neblina de aceite se muestran en la Figura 7.
2. A medida que el aire caliente entra en el cabezal de niebla Vortex (1, Figura 7) desde el calentador de aire, se extrae aceite tibio a través del tubo de succión de aceite, que se sumerge en el aceite caliente de la cámara generadora de niebla (Figura 7). El aceite se dispersa en el aire como una fina gota de neblina de aceite y se mueve a través del espacio de aire en el depósito por encima del nivel de aceite y se descarga en el cabezal de neblina de aceite para su distribución a los puntos de aplicación.
3. El transductor de presión del cabezal de neblina de aceite (2, Figura 7) controla el cabezal de neblina de aceite desde su ubicación en la parte superior del depósito. Una válvula de inspección de neblina de aceite tipo botón manual (4, Figura 7) es estándar en todas las unidades para inspección visual y verificación de la salida de neblina de aceite.

4. Se ofrece un sensor de densidad de neblina de aceite (3, Figura 7) como opción adicional. Esta instrumentación adicional proporciona una señal continua al sistema de control que reconoce los cambios en la densidad de la niebla. Los cambios en la densidad de la neblina de aceite se pueden monitorear continuamente y se pueden establecer puntos de ajuste de alarma altos y bajos al dar servicio a equipos críticos.

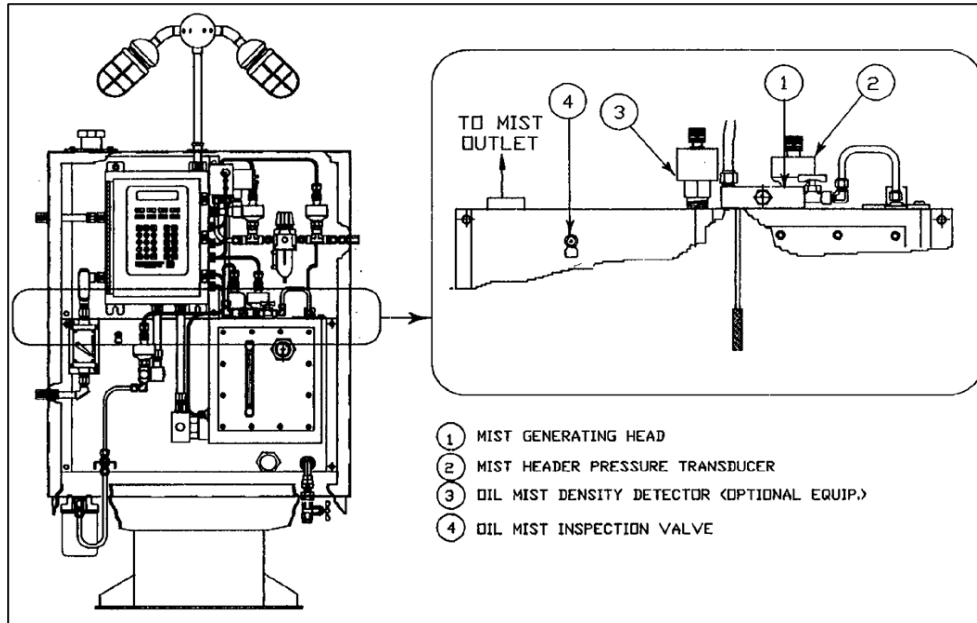


Figura 7. Componentes generadores de niebla de aceite.

Sistema de control y monitoreo operativo

Los siguientes puntos describen el funcionamiento del sistema de control y monitor operativo de la máquina generadora de niebla

1. Todos los sensores de temperatura, presión y nivel, solenoides, calentadores e interruptores de corte de alta temperatura están integrados en un paquete de control base de microcomputadora de estado sólido. Los componentes del sistema de operación y monitoreo se muestran en la Figura 8.
2. La energía eléctrica se suministra a los controles y todos los componentes de potencia a través de un interruptor de energía eléctrica local (1, Figura 8).
3. El controlador de estado sólido modelo SSV (2, Figura 8) proporciona todas las funciones de control, monitoreo y alarma basadas en las señales de salida del sensor. El controlador incluye indicadores de estado del panel local para todas las variables monitoreadas. Un teclado local, que se utiliza para consultar las condiciones de funcionamiento y realizar funciones de programación, está acoplado a una pantalla alfanumérica de alta visibilidad para ofrecer una lectura inmediata.
4. Todos los circuitos y terminales de alarma y comunicación remota se encuentran dentro del controlador. Los indicadores de estado del panel local y la pantalla están acoplados con luces de estado de la unidad rojas y verdes (3, Figura 8) y (4, Figura 8) para

proporcionar un monitoreo local continuo del sistema.

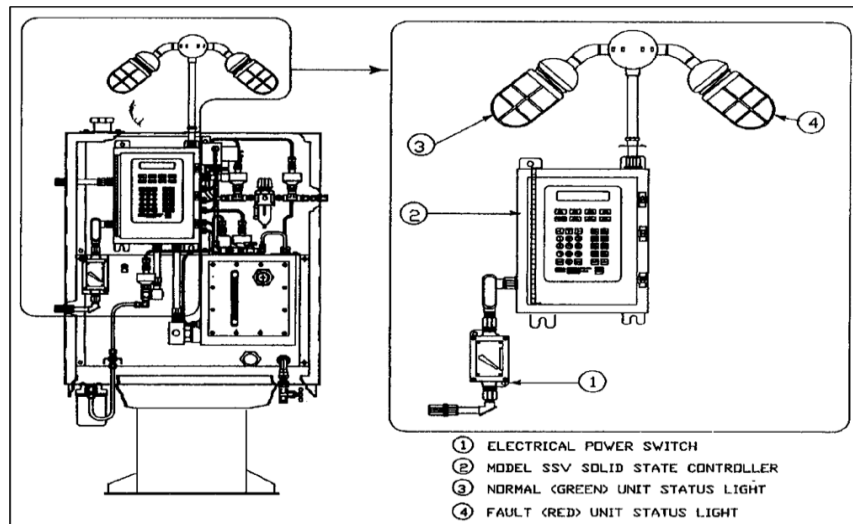


Figura 8. Sistema de control y monitoreo operativo.

Unidad de respaldo o consola auxiliar

Los generadores de neblina de aceite de respaldo están disponibles como equipo opcional en el modelo "SSV" de LubriMist. Estas unidades están equipadas con instrumentación mínima y están diseñadas para uso a corto plazo.

La unidad de respaldo (Figura 9) consta de los controles de suministro de aire de entrada, es decir, el filtro de aire/regulador de presión de aire (1, Figura 9) con manómetro (2, Figura 9) el depósito de suministro de aceite (3, Figura 9) con un puerto de llenado de aceite manual (4, Figura 9), indicador de nivel de aceite (5, Figura 9), válvula de alivio (6, Figura 9), indicador de temperatura de aceite (7, Figura 8), calentador de aceite (8, Figura 9) y válvula de drenaje (9, Figura 9). Los componentes de generación de neblina de aceite incluyen el cabezal de neblina (10, Figura 9) y el manómetro de neblina (11, Figura 9). Los controles de operación consisten en un termostato (12, Figura 9) que es parte integral del calentador de aceite y un interruptor selector de energía ubicado en el gabinete de la consola principal.

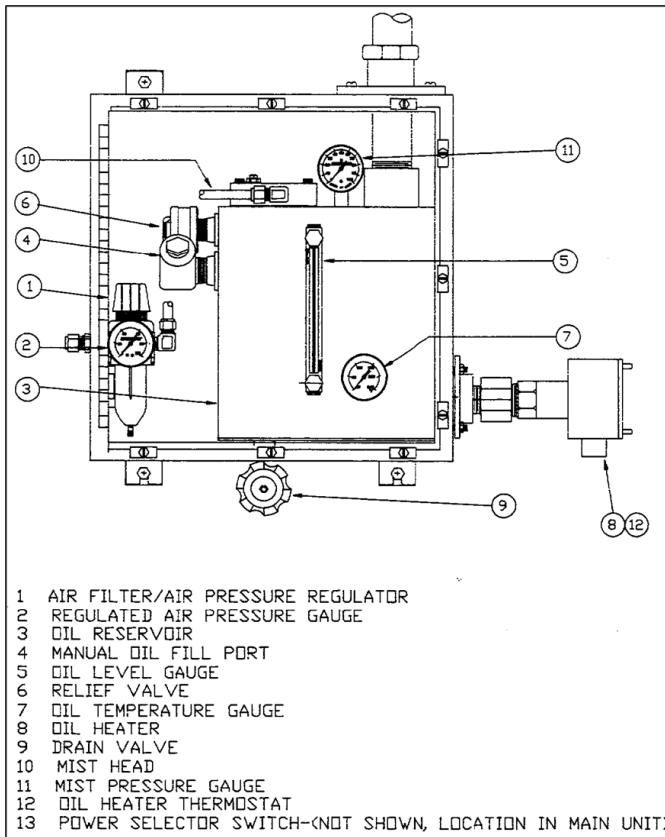


Figura 10. Diagrama de unidad de respaldo.



Figura 9. Unidad de respaldo, consola auxiliar.

El conocimiento fue indispensable para hacer el análisis y propuesta que presenta a continuación, ya que permitió la comprensión del funcionamiento del sistema de generación de niebla de aceite, permitiendo estudiar detalladamente las interacciones entre sus componentes y los procesos involucrados para identificar cuellos de botella y áreas de mejora en el proceso.

CASO DE ESTUDIO

El Grupo Sichelub Lubritech (GSL) cuenta con más de 30 años de presencia en Iberoamérica. Han sido pioneros en soluciones en ingeniería de lubricación en industria de proceso continuo, cuentan con la mayor base instalada en Latino América, España, Portugal e Italia. Su objetivo es el incremento de la productividad, el cuidado del medio ambiente y la confiabilidad tribológica.

Sichelub Lubritech surgió de la Alianza Estratégica de Sistemas Centrales de Lubricación, S. A. de C. V., fundada en 1988 y de Lubrication System Company, ubicada en Houston, Texas, desde 1968. Comenzó a operar en México, y luego desarrolló su proceso de internacionalización hacia Venezuela, Argentina, Brasil, España, Colombia, Trinidad y Tobago, Perú e Italia.

Actualmente, el Grupo Sichelub Lubritech ha desarrollado soluciones innovadoras en el Mercado, tales como:

- Lubricación por Niebla de Aceite para Bombas Centrífugas en Refinerías y Químicas. Más de 25.000 bombas lubricadas por niebla desde 1988. Marca Lubrimist.
- Tecnología de purificación continua de Aceites, marca Thermojet. Más de 500 Purificadores operando.

Durante la estancia, me enfoqué en diversas tareas, principalmente en las siguientes:

- Revisar manuales de procedimientos
- Tomar un curso de auditor interno dentro de la empresa
- Realizar una visita al centro petroquímico de Cangrejera en Veracruz ver Figura 11 de la ubicación del centro petroquímico, a partir de esta visita se desarrolló un estudio procedimiento para el mantenimiento de una planta generadora de vapor, que brinda servicio de manera permanente PEMEX.



Figura 11. Imagen Satelital Complejo petroquímico Cangrejera, Ubicación de planta Generadora de Vapor dentro del Complejo.

A continuación, se presenta el organigrama de Sicelub del cual fui responsable de elaborar, destacando de manera clara la estructura jerárquica, cabe resaltar que debido a que Reladyne compro Sicelub México hace unos años, se está reorganizando estructuralmente para crecer económicamente.

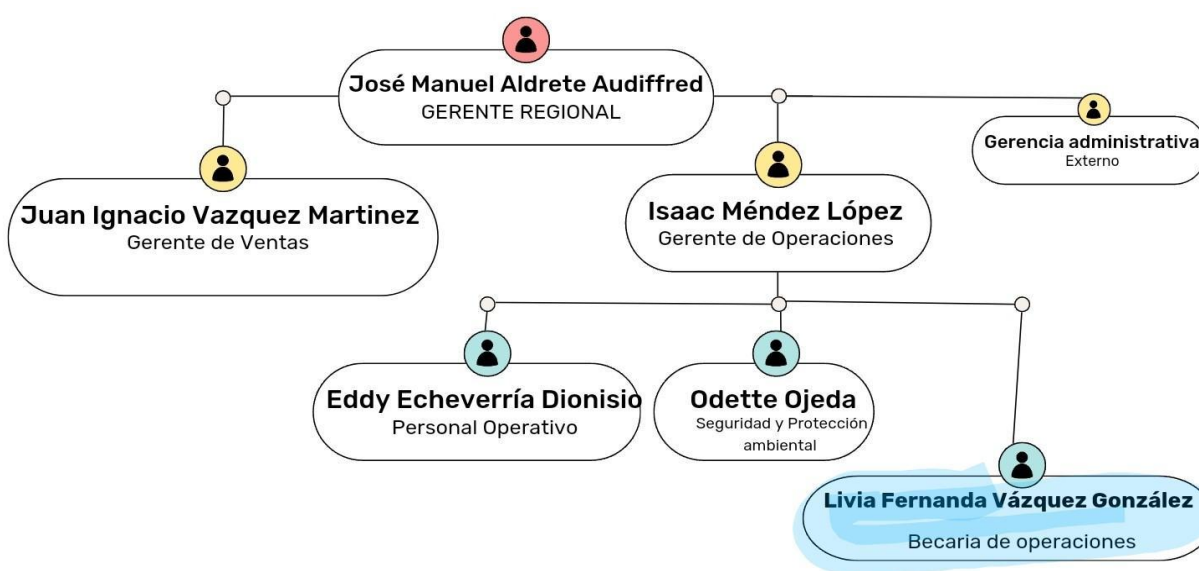


Figura 12. Organigrama de SICELUB México.

Visita a Complejo Petroquímico

Se realizó la visita al Complejo Petroquímico de Cangrejera, específicamente la planta de Generación de Vapor la cual despliega una función esencial en el entorno industrial, ya que este actúa como una fuente de energía primaria para alimentar las turbinas convirtiendo la energía térmica en eléctrica y en diversos procesos industriales como lo son la destilación, refinación, calentamiento de fluidos, esterilización, secado y otros proceso térmicos, por lo que es una de las plantas indispensables para que este complejo pueda funcionar.

Dentro de la Planta de Generación de Vapor se encuentra el equipo Lubricación por Niebla Figura 13 marca LubriMist® Modelo SSV, el cual fue vendido a PEMEX por Sistemas Centrales de Lubricación. Este equipo se sometió a un procedimiento de mantenimiento preventivo para evitar daños o desgastes.

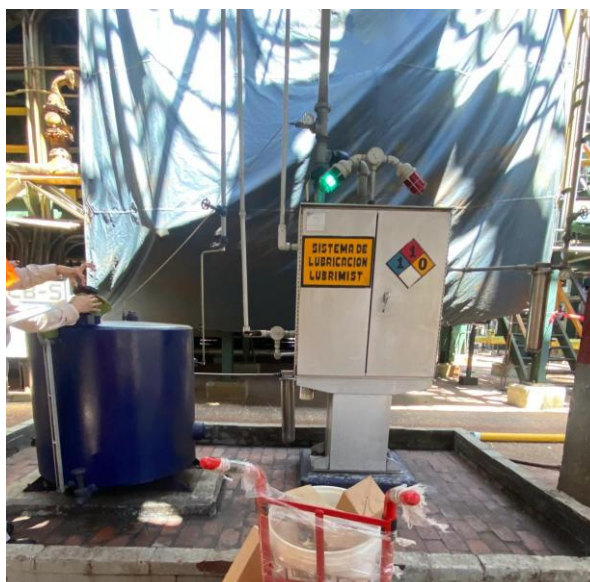


Figura 133. Equipo de Lubricación por Niebla marca LubriMist® Modelo SSV.

Dicho equipo genera lubricación de aceite en pequeñas gotas finas y uniformes que se dispersan en el aire mediante un sistema de aire comprimido. Estas gotas de aceite forman una niebla que se dirige hacia las superficies de fricción de las piezas móviles de nueve bombas a través de un dispositivo llamado manifold que se puede observar en la Figura 14.



Figura 14. Manifolds en diversas bombas.

El manifold actúa como un colector central desde el cual el aceite lubricante es suministrado a través de tuberías hacia los puntos de lubricación específicos. Este procedimiento es vital para que se lleve a cabo el funcionamiento de la Planta Generadora de Vapor.

Este proceso de mantenimiento al equipo es recomendable hacerse cada 4 meses, sin embargo, el último proceso de mantenimiento se realizó hace más de un año, esto por consideraciones

establecidas por PEMEX, ya que el costo aproximado de dicho procedimiento es de \$500,000.00. El cual contempla diversos aspectos, entre los que incluyen:

1. Costo de refacciones las cuales son traídas de Estados Unidos
2. Mano de obra especializada ya que se requiere de un técnico especialista en Lubricación y específicamente capacitado para poder manipular el equipo
3. Adquisición de herramientas y equipo necesario
4. Gastos asociados al transporte tanto de refacciones como de operarios.

Adicionalmente, se contemplan los costos derivados de la realización de inspecciones y diagnósticos, pruebas y calibraciones necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del equipo posterior al procedimiento de mantenimiento. Cabe mencionar que también se consideran costos relacionados con la seguridad del personal y cumplimiento normativo, incluyendo los permisos requeridos para ingresar a las instalaciones de PEMEX.

El tiempo estimado para realizar el mantenimiento mencionado está programado cada nueve meses con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento y prolongar su tiempo de vida. Sin embargo, esto no se lleva a cabo con la periodicidad establecida debido ciertos aspectos:

1. Los rigurosos protocolos de seguridad de PEMEX
2. El extenso proceso burocrático para la obtención de los permisos necesarios que permitan el ingreso del personal contratista a las instalaciones.

Esto genera retrasos significativos en las fechas estimadas para las ejecuciones de mantenimientos preventivos.

En algunas ocasiones han transcurrido hasta dos años sin que se realice mantenimiento alguno, generando un aumento en el riesgo de fallos imprevistos y averías en el equipo, es importante recalcar que esta situación se debe en gran parte a que PEMEX no agiliza los trámites administrativos, además de existir una tendencia a postergar este tipo de mantenimiento en ciertas máquinas hasta que se presenten fallas evidentes en los sistemas, comprometiendo la seguridad operativa, incrementando los costos de operación y reduciendo la eficiencia de los equipos

Durante el proceso, participaron un operario especializado en procesos de Lubricación, un profesional de seguridad responsable de garantizar el cumplimiento de las normativas y medidas de seguridad, y yo como auditora del proceso, encargada de supervisar y evaluar la conformidad con los estándares y procedimientos establecidos.

El operario encargado de realizar el mantenimiento cuenta con aproximadamente 15 años de experiencia en el área, lo que lo convierte en un experto en la ejecución del mantenimiento preventivo. A pesar de los años que lleva realizando dicha actividad la persona no ha señalado aspectos deficientes en el procedimiento.

Dentro del *Anexo 2* se encuentra la descripción detallada del proceso de mantenimiento, de acuerdo con el Manual de Procedimiento de trabajo para el Servicio de Mantenimiento Preventivo de equipos de lubricación por niebla en el cual se proporcionan instrucciones precisas que orientan a los lectores en cada etapa de su ejecución

En el manual de procedimiento de trabajo no se especifica el tiempo de ejecución para las actividades de mantenimiento preventivo, generando una falta de estandarización en el proceso, permitiendo que los tiempos de trabajo aumenten significativamente, ya que no existen lineamientos precisos que regulen la duración de las actividades ni mecanismos que garanticen el cumplimiento de las actividades en tiempos específicos.

Otra deficiencia importante es que este manual no cuenta con diagrama de flujo de proceso, lo que dificulta la visualización clara y secuencial de las etapas que conforman el procedimiento.

A continuación, se describe el proceso de mantenimiento observado y registrado que se llevó a cabo el día 26 de marzo del 2024 dentro del Complejo Petroquímico Cangrejera.

Proceso de llenado de formatos de PEMEX

El proceso comienza con el llenado de formatos de permisos otorgados por el Ingeniero a cargo de la planta, siguiendo las normas establecidas por PEMEX. Estos formatos detallan el alcance de los trabajos a realizar y la ubicación específica para llevar a cabo el mantenimiento preventivo, que en este caso fue en el área de calderas. En los formatos se incluye una sección dedicada a la aceptación de medidas de seguridad y equipo de protección personal, así como la asunción de responsabilidad en caso de cualquier incidencia con el equipo.

De acuerdo con el marco normativo de la planta, es obligatorio el uso de tapones auditivos debido a la exposición a niveles extremos de ruido generados por la salida de vapor a alta presión, se requiere el uso de guantes, casco, lentes de seguridad y overol naranja debido a las manipulaciones con aceite. Todos los prestadores de servicios que ingresan a cualquier planta de PEMEX deben utilizar el overol naranja para ser identificados fácilmente en comparación con los trabajadores de planta. Esto asegura que, en caso de cualquier accidente, puedan ser identificados rápidamente para garantizar la integridad física del personal y el cumplimiento de las normativas de seguridad vigentes.

Diagramas de Proceso de mantenimiento preventivo de Lubricación por Niebla SSV

A continuación, se presentan los diagramas de proceso correspondientes a las actividades que se realizaron durante el mantenimiento preventivo de lubricación por niebla SSV, los cuales están divididos en seis grupos de actividades principales, en cada una indicando las actividades específicas que el operario realizó el día que se llevó a cabo la auditoría en el centro petroquímico.

En primera instancia se observa el diagrama de flujo de los seis grupos de actividades antes mencionados.

Mantenimiento preventivo a equipo de Lubricación por Niebla marca LubriMist® Modelo SSV

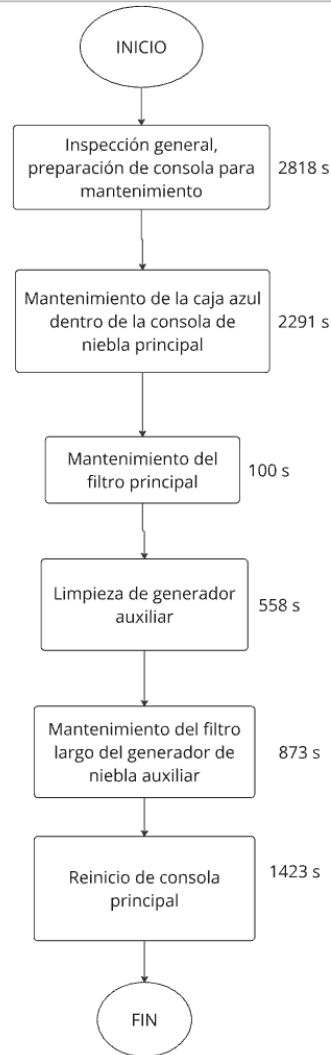


Figura 15. Diagrama de proceso del mantenimiento preventivo a equipo de lubricación por niebla.

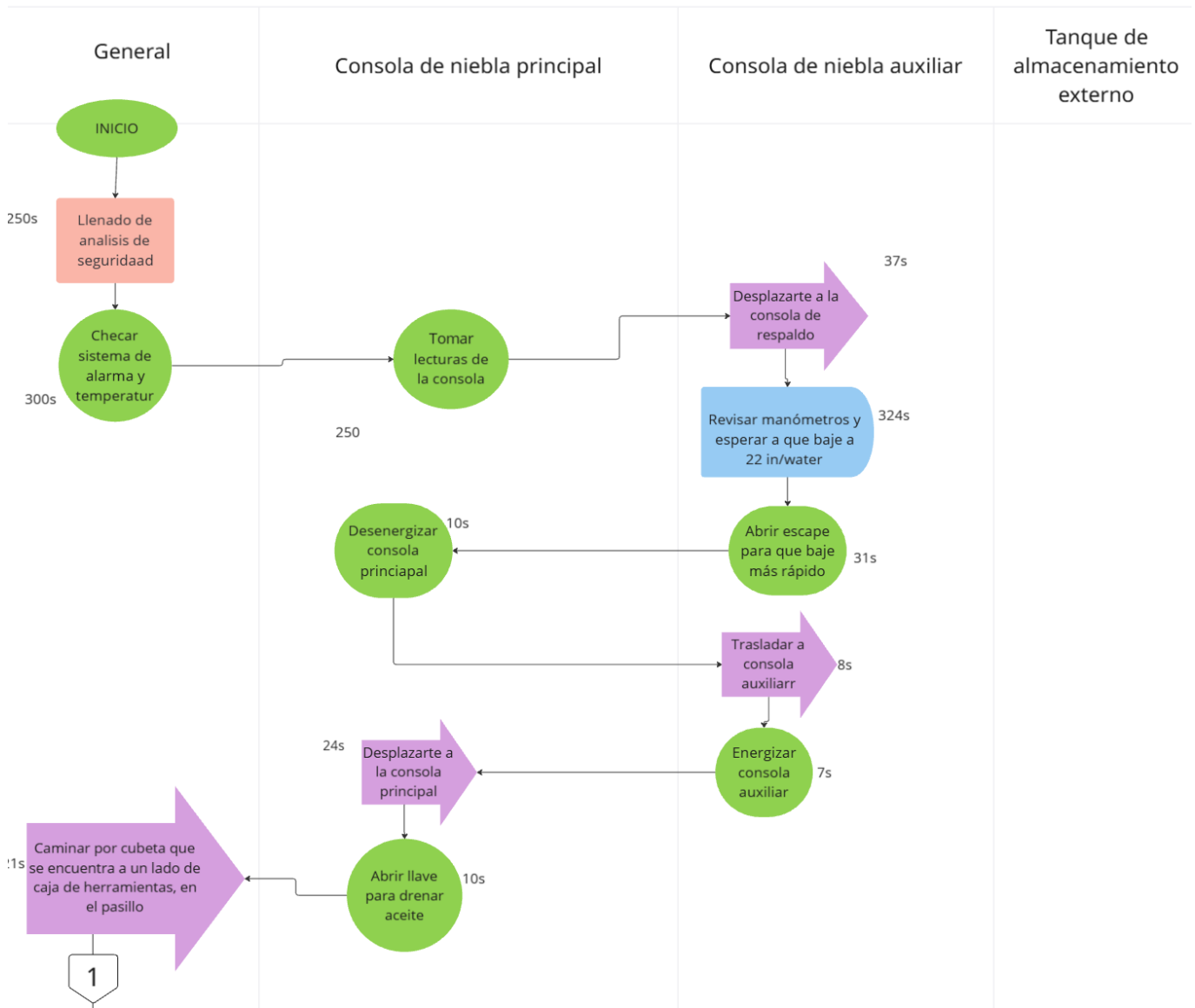
El segundo diagrama de proceso se centra en una inspección general del equipo seguida de la preparación de la consola para su mantenimiento.

Inspección general, preparación de consola para mantenimiento		
Actividad		Tiempo (segundos)
1	Llenado de análisis de seguridad	250
2	Checar sistema de alarma y temperatura	300
3	Tomar lecturas de la consola	250
4	Desplazarse a la consola de respaldo	37

5	Revisar manómetros y esperar a que baje a 22 in/water	324
6	Abrir escape para que baje más rápido	31
7	Desenergizar consola principal	10
8	Trasladar a consola de auxiliar	8
9	Energizar consola auxiliar	7
10	Desplazarse a la consola principal (enfrente)	24
11	Abrir llave para drenar aceite	10
12	Caminar por cubeta que se encuentra a un lado de la caja de herramientas en el pasillo	21
13	Poner Cubeta debajo de la llave y esperar a que se llene	420
14	Ir por el bote a presión con bomba con líquido desengrasante	32
15	Rociar todo el equipo por fuera con desengrasante	143
16	Limpiar con un trapo la superficie donde se aplicó el desengrasante.	427
17	Caminar por cubeta	24
18	Caminar con Cubeta hacia tanque de almacenamiento externo	32
19	Vaciar aceite de cubeta al tanque de almacenamiento externo	48
20	Caminar de regreso a poner la cubeta a que se llene	22
21	Esperar a que se vacíe por completo la consola principal	320
22	Caminar con cubeta llena a tanque de almacenamiento externo	30
23	Vaciar aceite de cubeta a tanque de almacenamiento externo	48

Tabla 3. Actividades de preparación de consola para mantenimiento e inspección general.

Inspección general, preparación de consola para mantenimiento



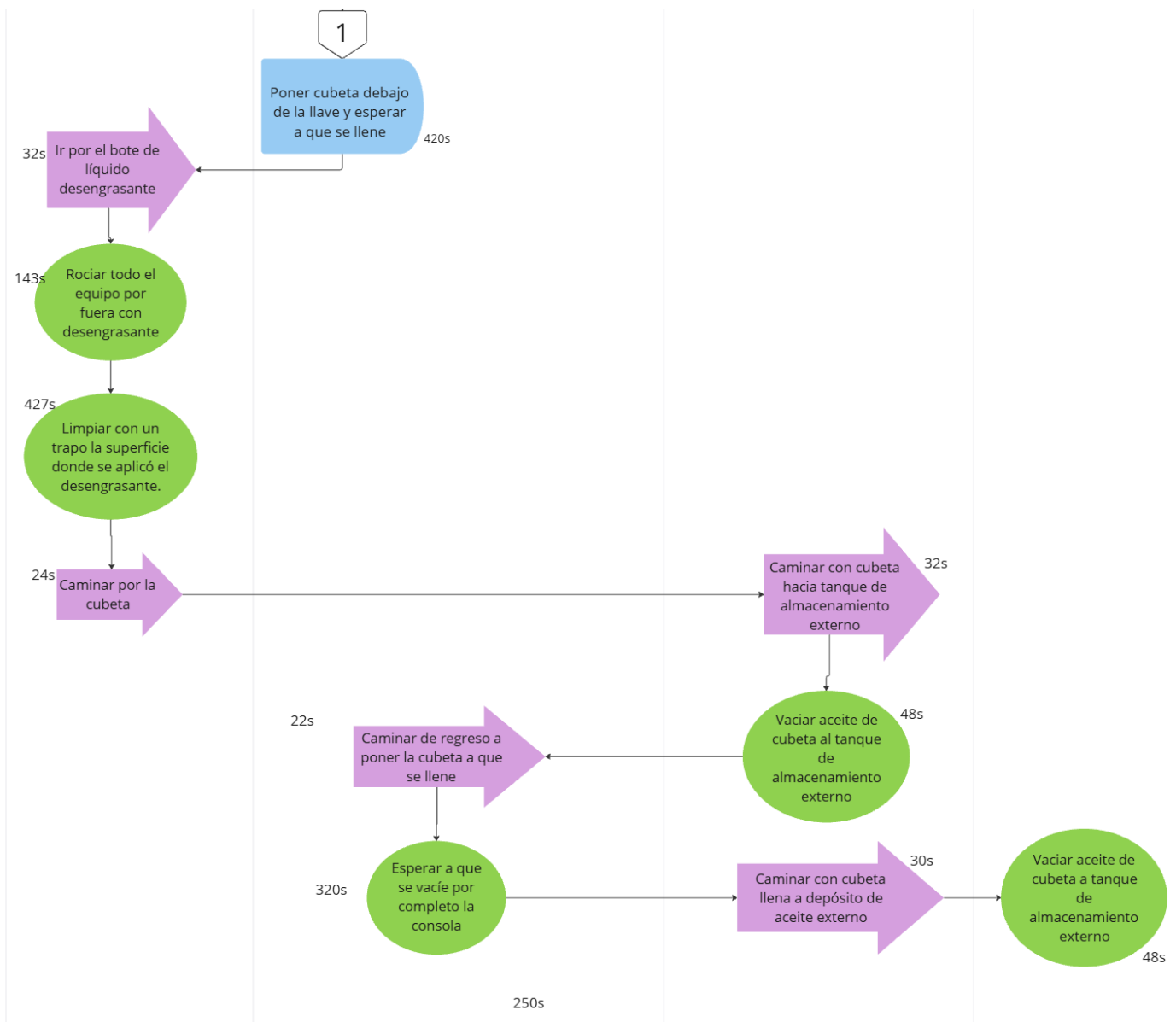


Figura 156. Diagrama de proceso de inspección general y preparación de consola

Para dar inicio con el proceso de mantenimiento se debe realizar una verificación de seguridad la cual tiene que ser documentada, se tiene que revisar tanto el sistema de alarma y el correcto funcionamiento de todos los manómetros instalados dentro del equipo.

Durante la inspección, se observó que uno de los manómetros ubicados en la parte superior no estaba funcionando, ya que la aguja estaba suelta. Sin embargo, estos hallazgos no fueron registrados en ningún formato, a pesar de que el manual de procedimientos establece claramente esta práctica.

Posteriormente se deben tomar lecturas de la consola principal para registrar las condiciones actuales antes de continuar.

Se procede al vaciado del aceite contenido en la caja azul, que actúa como caja principal de almacenamiento de aceite dentro de la consola principal. El objetivo de este paso es llevar a cabo una limpieza exhaustiva de la caja de almacenamiento.

Durante el proceso de vaciado, se observaron movimientos excesivos e innecesarios por parte del operario. Además, se notó un considerable tiempo de espera durante el llenado a la mitad de la cubeta.

Después de llenar la cubeta, el operario debe cargarla y desplazarla hasta el área del tanque de almacenamiento externo para vaciarla.

Este procedimiento se repite cuatro veces sin poder avanzar en otras tareas, lo que genera un esfuerzo adicional en el operario debido al peso de la cubeta de 20 litros, dificultando la realización del movimiento de forma ergonómica

La NOM-036-1-STPS-2018, establece las disposiciones para identificar, analizar, prevenir y controlar los riesgos por el manejo de cargas en los centros de trabajo, definiendo límites máximos de carga por persona según el sexo, teniendo como objetivo prevenir trastornos musculoesqueléticos en los trabajadores, evaluando factores como el peso de la carga, la postura, frecuencia en la que el trabajador realiza el levantamiento y las condiciones ambientales a las que se expone. Dicha norma tiene un sistema de colores tipo semáforo el cual nos ayuda a evaluar el nivel de riesgo que representa levantar una carga manualmente, en dicho sistema se le asigna un color y un valor numérico dependiendo en que rango se encuentre la carga y el operario.

Siguiendo lo establecido en la NOM-036-1-STPS-2018, se realizó un análisis para estimar el nivel de riesgo de las actividades de carga que realiza el operario durante el proceso de mantenimiento. Para ello, se utilizó como referencia la tabla de Estimación del nivel de riesgo de la norma, la cual clasifica el riesgo en función de el peso de la carga, el sexo del trabajador, la postura y otras condiciones. A continuación, se presenta la tabla aplicada con base en la norma complementada con la información de la carga del operario.

Estimación del nivel de riesgo

Factores de riesgo	Levantar		Transportar	
	Color	Valor	Color	Valor
Peso y ascenso de la carga/ frecuencia de transporte	Naranja	4	Naranja	4
Distancia horizontal entre las manos desde la parte inferior de la espalda	Naranja	3	Naranja	3
Región de levantamiento vertical	Rojo	3		
Torsión y flexión lateral del torso; Carga asimétrica sobre el torso (transporte)	Rojo	2	Rojo	3
Restricciones posturales (posturas incómodas, forzadas, o restringidas)	Naranja	1	Naranja	1
Acoplamiento mano-carga (elementos de sujeción)	Verde	0	Verde	0
Superficie de trabajo	Verde	0	Verde	0
Otros factores ambientales	Verde	0	Verde	0
Distancia de transporte			Verde	0
Obstáculos en la ruta (sólo en transporte)			Verde	0
Comunicación, coordinación y control (sólo manejo manual de cargas en equipo)				
Puntuación		13		11
Nivel de Riesgo	Alto-Significativo		Medio-Posible	

Tabla 4. Estimación del nivel de riesgo.

Para determinar el nivel de riesgo en cada estimación la norma asigna un valor numérico a los factores de riesgo antes mencionados en la tabla 4. Estos valores se suman para obtener una puntuación total, la cual se interpreta a través de la Tabla 5.

NIVEL DE RIESGO	PRIORIDAD	PUNTAJE TOTAL
Bajo – Aceptable	No se requieren acciones correctivas	0 a 4
Medio – Posible	Se requieren acciones correctivas a corto plazo	5 a 12
Alto – Significativo	Se requieren acciones correctivas pronto	13 a 20
Muy Alto - Inaceptable	Se requieren acciones correctivas inmediatamente	21 a 32

Tabla 5. Nivel de Riesgo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el puntaje total de *Levantar* se encuentra dentro del rango clasificado como Alto-Significativo, el cual según la norma indica la necesidad de implementar acciones correctivas con prontitud.

En cuanto al transporte de cargas se ubica en el rango Medio-Posible, por lo que se sugiere no de manera inmediata implementar acciones correctivas a corto plazo para mitigar posibles problemas futuros y mejorar las condiciones ergonómicas en el manejo manual de cargas.

Para finalizar con la Inspección general, se vuelve a colocar la cubeta para continuar drenando el aceite restante. Una vez que el depósito azul esté vacío completamente, se inicia el proceso de desmontaje de la consola principal, que consta de doce tornillos para poder acceder a su interior como se muestra en la Figura 17 en donde se observa al operario realizando el proceso de desmontaje de la consola principal.

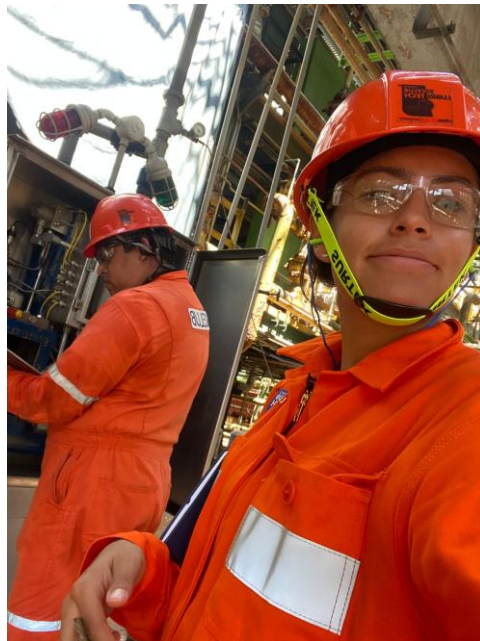


Figura 167. Becaria de Operaciones Livia Fernanda Vázquez González dentro de la instalación observando el proceso de desmontaje de consola principal.

Mantenimiento de la caja azul dentro de la consola de niebla principal

El tercer diagrama de proceso del mantenimiento preventivo indica el desmontaje de un almacenamiento azul que se encuentra dentro de la consola de niebla principal, al cual se realiza limpieza de cada uno de sus elementos incluyendo un filtro que se encuentra dentro de ella.

Mantenimiento de la caja azul dentro de la consola de niebla principal	
Actividad	Tiempo (segundos)

1	Caminar a caja de herramientas por llave para abrir depósito azul dentro de la consola principal	20
2	Desatornillar 12 tornillos	350
3	Abrir tapa y ponerla en el suelo	34
4	Desatornillar la placa trasera dentro del depósito azul de la consola principal	120
5	Trasladar placa trasera de depósito azul al piso	8
6	Limpiar elementos de placa trasera	115
7	Quitar la cubeta llena	30
8	Cerrar llave de paso de aceite	36
9	Desatornillar filtro dentro de generador de niebla principal	60
10	Limpiar filtro	42
11	Ir a tirar residuos de aceite de cubeta y basura a otra parte de la planta	540
12	Quitar corcho protector de la tapa del generador de niebla principal	10
13	Limpiar tornillos y tuercas de generador principal	60
14	Caminar hacia donde están las placas en el piso limpias	10
15	Ir a caja de herramientas por corcho nuevo	45
16	Armar todo y atornillar todo nuevamente	580

Tabla 6. Actividades para desmontaje de caja azul dentro de la consola de niebla principal.

Mantenimiento de la caja azul dentro del la consola de niebla principal

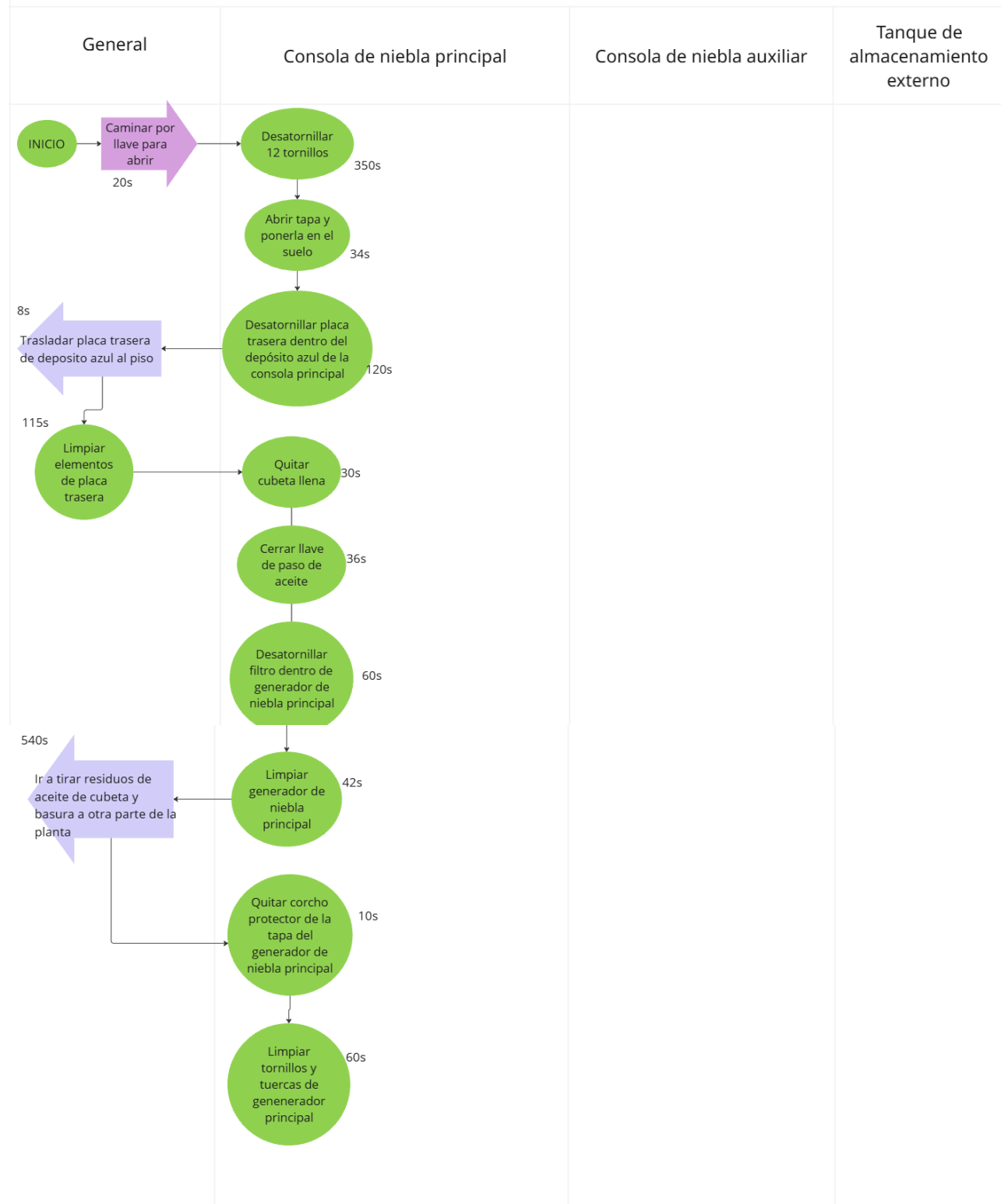


Figura 18. Diagrama de proceso de desmontaje de caja azul de consola principal.

Esta parte del procedimiento inicia desplazándose hacia la caja de herramientas por una llave que abra el depósito azul dentro de la consola principal.

Se retira la tapa del depósito azul y se procede a desmontar las diversas partes internas, las cuales se limpian meticulosamente, siendo cada una de ellas extraída y colocada en el suelo para su posterior limpieza.

Dentro del mismo depósito se encuentra un filtro de aceite que requiere ser retirado y sometido a un proceso de limpieza exhaustiva, podemos observar el filtro sucio en la Figura 18.



Figura 17. Filtro sucio que se encuentra en interior de la caja azul.

Posteriormente, se lleva la cubeta llena de residuos de aceite y la basura generada hasta la zona designada dentro de la planta, generando una pérdida de tiempo y una pausa en el proceso.

Al regresar del depósito de basura, se retira el corcho protector de la tapa del generador de niebla principal y se limpian todos los tornillos y tuercas.

Finalmente, el operario se traslada hacia la caja de herramientas por el corcho nuevo y por las placas traseras que previamente fueron limpiadas y los tornillos, procediendo con el reensamblaje.

Mantenimiento del filtro principal

A continuación, se enlistan las actividades y tiempo del procedimiento para el mantenimiento al filtro principal y en la Figura 19 se muestra el diagrama de proceso de cambio de filtro principal.

Mantenimiento del filtro principal		
Actividad		Tiempo (segundos)
1	Caminar hacia filtro de izquierda blanco, filtro principal	14
2	Quitar filtro	22
3	Vaciar aceite y residuos sobrantes en cubeta	10
4	Caminar hacia caja de herramientas por filtro nuevo	10
5	Colocar nuevo filtro y enroscar	44

Tabla 7. Actividades para el cambio del filtro principal.

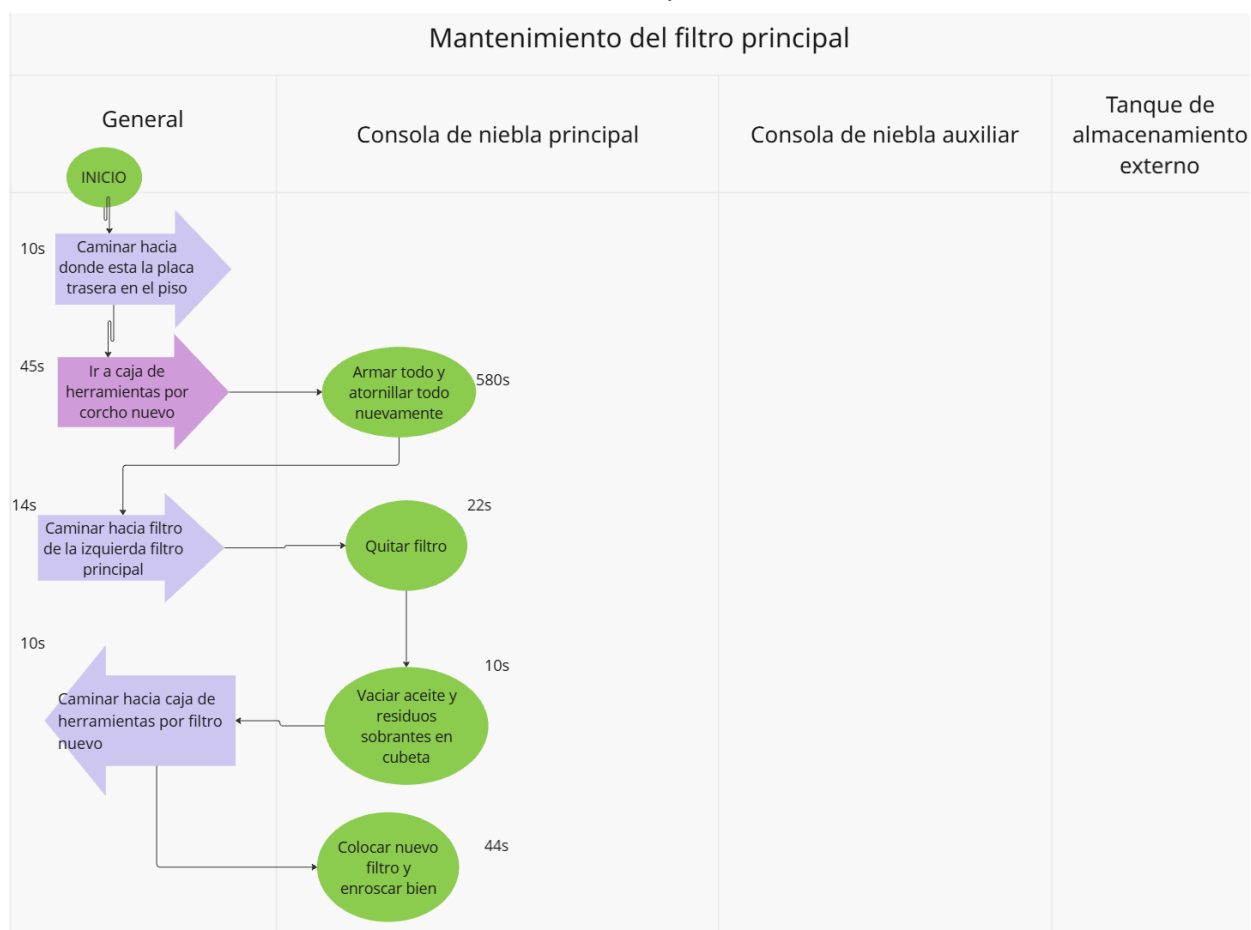


Figura 18. Diagrama de proceso de cambio de filtro principal.

Se efectúa la sustitución del filtro de aceite principal ubicado en la parte inferior del equipo, el cual evidenciaba un deterioro notable y, al ser drenado, se detectó una alta concentración de suciedad en su interior. El aceite y los residuos sobrantes del filtro se vierten en la cubeta.

Después de vaciar los residuos, se camina hacia la caja de herramientas para recoger el filtro nuevo e instalarlo mostrado en la Figura 20.



Figura 19. Filtro principal sucio a la izquierda y nuevo antes de sustituir.

Limpeza de generador auxiliar

El siguiente diagrama se enlistas las actividades que se llevaron a cabo para realizar la limpieza al generador auxiliar o consola de respaldo con ayuda de un líquido desengrasante.

Limpeza de generador auxiliar		
Actividad		Tiempo (segundos)
1	Trasladar a parte de atrás a donde se encuentra el generador auxiliar	8
2	Limpeza del generador auxiliar que se encuentra en parte posterior	250
3	Volver a limpiar parte trasera con líquido desengrasante	300

Tabla 8. Actividades para la limpieza del generador auxiliar o consola de respaldo.

Limpieza de generador auxiliar

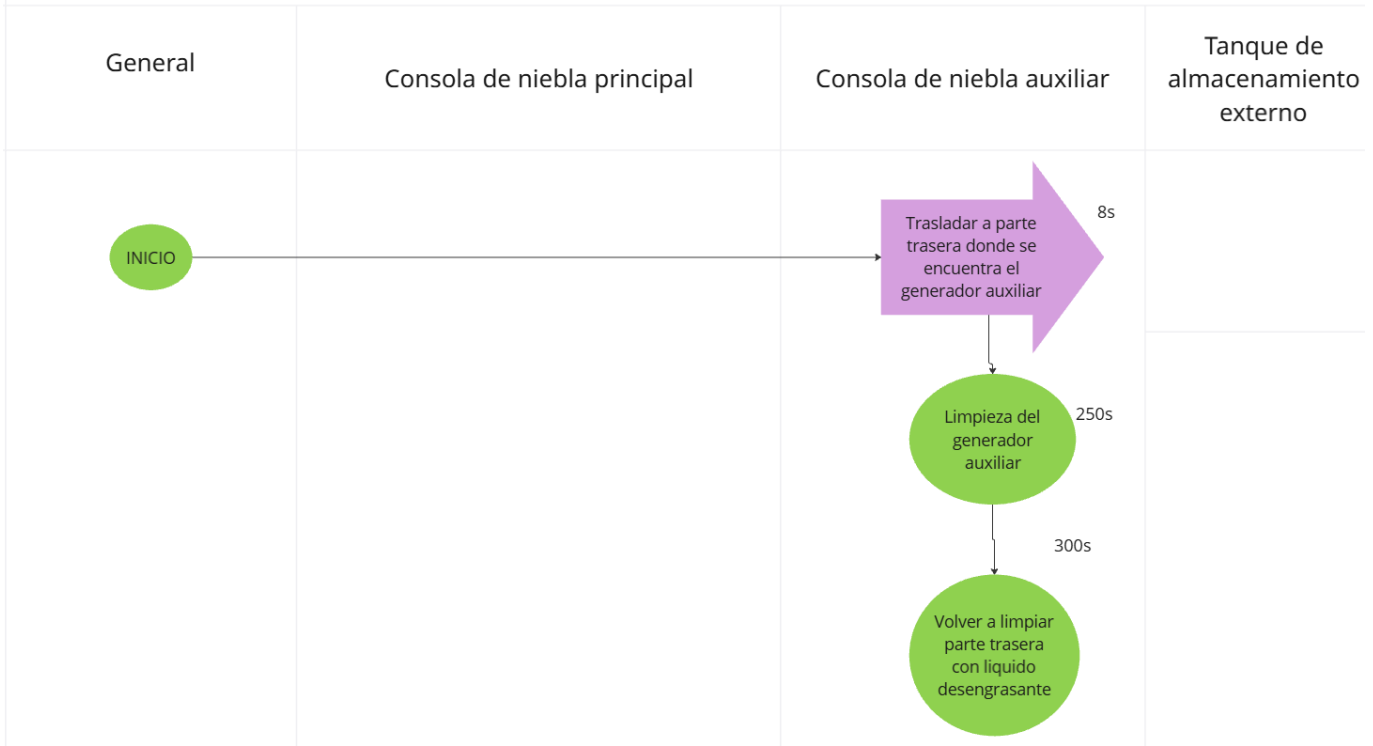


Figura 20. Diagrama de proceso de actividades de limpieza del generador auxiliar

Para continuar con el procedimiento el operario se traslada a la parte posterior de la consola para iniciar con la limpieza del equipo, con líquido desengrasante remover cualquier acumulación de suciedad, grasa o residuos.



Figura 21. Operario limpiando generador auxiliar.

Mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar y filtro exterior de consola principal

A continuación, se describen las actividades realizadas para el reemplazo del filtro exterior de la consola principal, así como también del mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar. Dentro de esta sección se trasladaron hacia otra parte de la planta los residuos generados durante las actividades anteriores.

Mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar y filtro exterior de consola principal		
Actividad		Tiempo (segundos)
1	Drenar filtro largo del generador de niebla auxiliar	43
2	Desatornillar filtro	23
3	Caminar a caja de herramientas por filtro nuevo	14
4	Cambiar filtro y enroscarlo de nuevo	128
5	Cargar cubeta con la que se drene de la consola principal	8
6	Ir a tirar residuos de aceite de cubeta y basura a otra parte de la planta	580
7	Desenroscar último filtro de aceite que se encuentra a mano derecha de la consola principal	12
8	Drenar aceite de ese filtro en cubeta	23
9	Ir a caja de herramientas por filtro nuevo	7
10	Cambiar filtro	22
11	Enroscar filtro	13

Tabla 9. Actividades llevadas a cabo para cambio de filtro largo de consola auxiliar y filtro exterior de consola principal.

Mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar y filtro exterior de consola principal

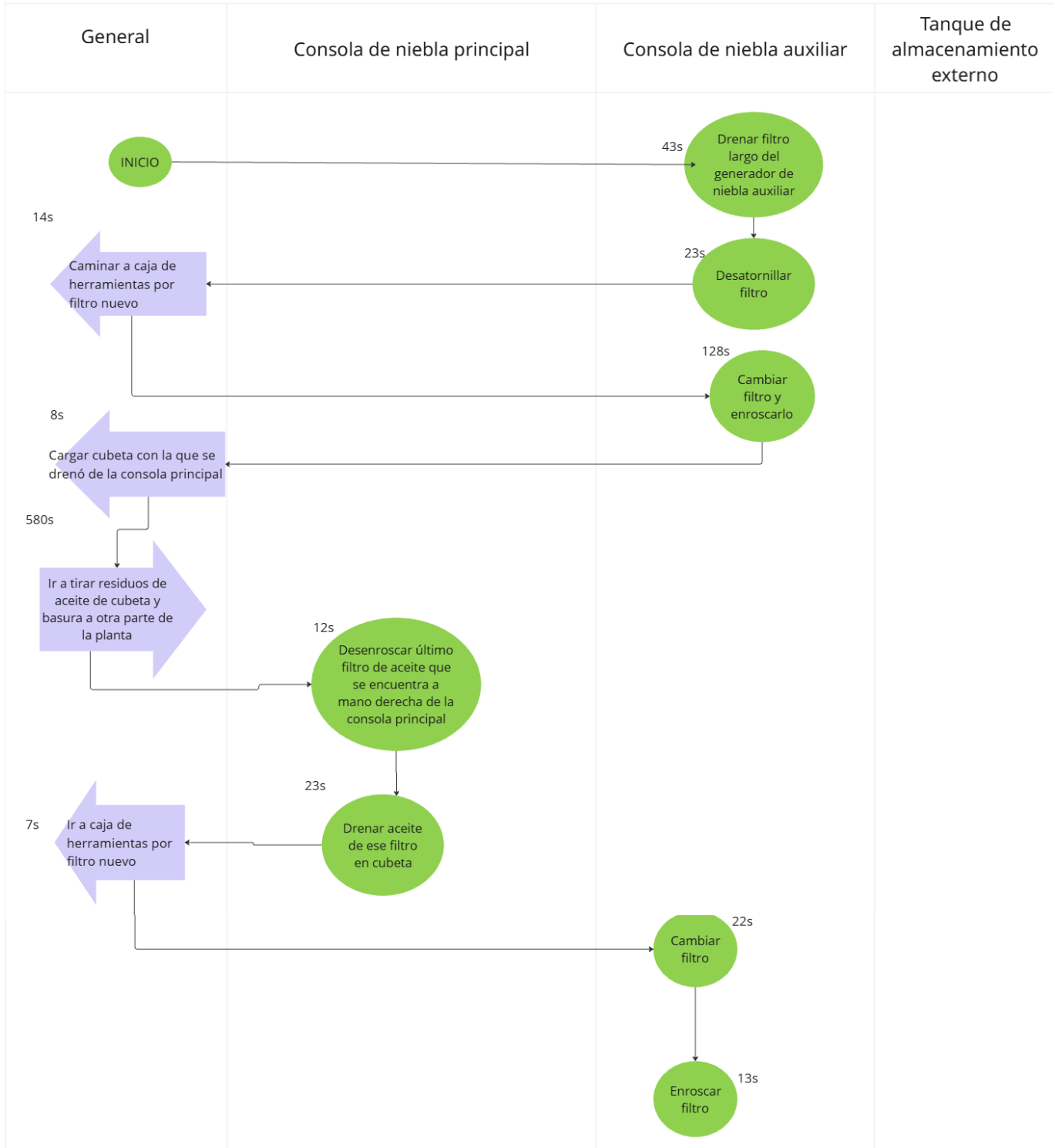


Figura 22. Diagrama de proceso para cambio de filtro largo de generador auxiliar

Esta parte del procedimiento comienza con el vaciado del filtro largo del generador de niebla auxiliar, este filtro se drena completamente hasta que todo el aceite escurra completamente en la cubeta antes de proceder a su retiro ya que este aceite no es apto para ser reintroducido en la caldera debido a su contaminación. Una vez vacío se traslada a la caja de herramientas para recoger el filtro nuevo para proceder con su instalación. En la Figura 25 se observa el filtro nuevo colocado correctamente.

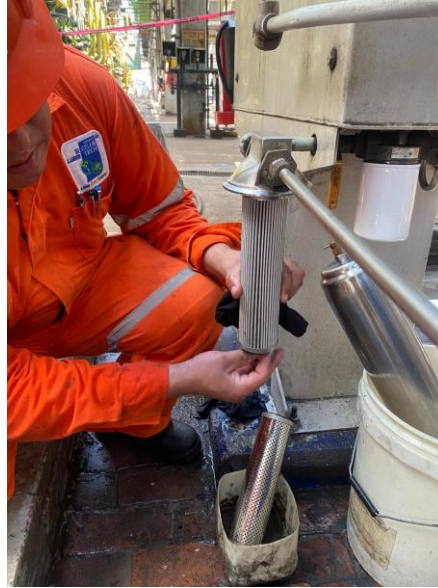


Figura 25. Filtro largo nuevo.

Después de reemplazar el filtro, se lleva la cubeta con los residuos acumulados hacia la zona designada en otra parte de la planta para la disposición de residuos.

Finalmente se desenrosca el último filtro de aceite ubicado a la derecha de la consola principal, de igual forma se drena el aceite en la cubeta antes de proceder con su reemplazo. En la Figura 26 puede observar el filtro desgastado y sucio antes de ser reemplazado por el filtro del lado derecho

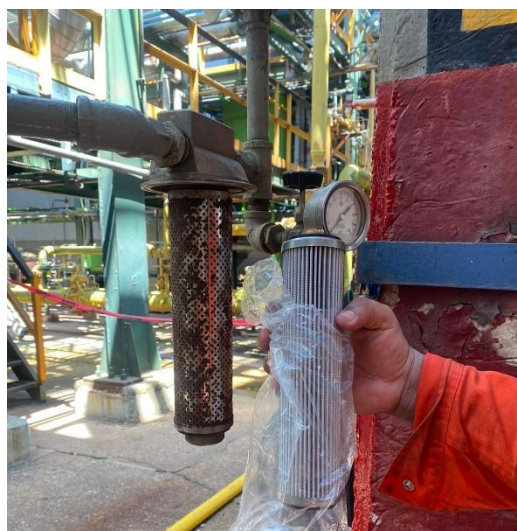


Figura 236. Filtro de consola principal antes de ser reemplazado por el filtro del lado derecho.

Reinicio de consola principal

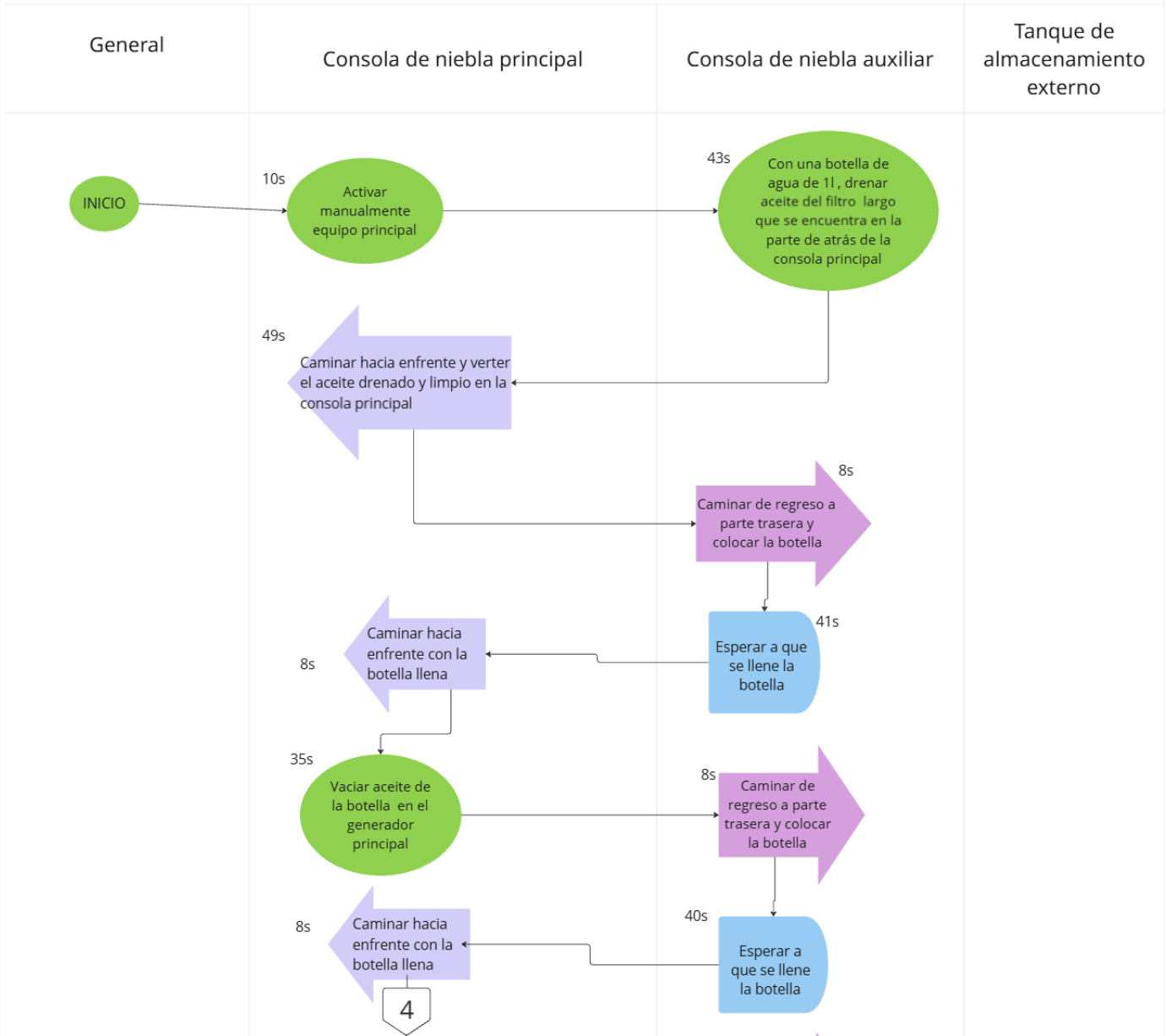
Se describen las siguientes actividades necesarias para llevar a cabo el reinicio de la consola principal, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento y continuidad operativa.

Reinicio de consola principal		
Actividad		Tiempo (segundos)
1	Activar equipo manualmente	10
2	Con una botella de agua de 1 l, drenar aceite del filtro de aceite largo que se encuentra en la parte de atrás de la consola principal	43
3	Caminar hacia enfrente y verter el aceite drenado y limpio en la consola principal	49
4	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
5	Esperar a que se llene la botella	41
6	Caminar hacia enfrente con la botella llena	8
7	Vaciar aceite en el generador principal	35
8	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
9	Esperar a que vuelva a llenar la botella	40
10	Caminar hacia enfrente con la botella llena	8

11	Vaciar aceite en el generador principal	37
12	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
13	Esperar a que vuelva a llenar la botella	43
14	Caminar hacia enfrente con la botella llena	8
15	Vaciar aceite en el generador principal	38
16	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
17	Esperar a que vuelva a llenar la botella	42
18	Caminar hacia enfrente con la botella llena	9
19	Vaciar aceite en el generador principal	45
20	Una vez lleno, esperar a que prenda la luz indicadora del estado de la consola (luz verde)	120
21	Cerrar compuertas	45
22	Limpiar área de trabajo	530
23	Guardar todo tipo de herramientas	240

Tabla 10. Actividades para el reinicio de la consola principal.

Reinicio de consola principal



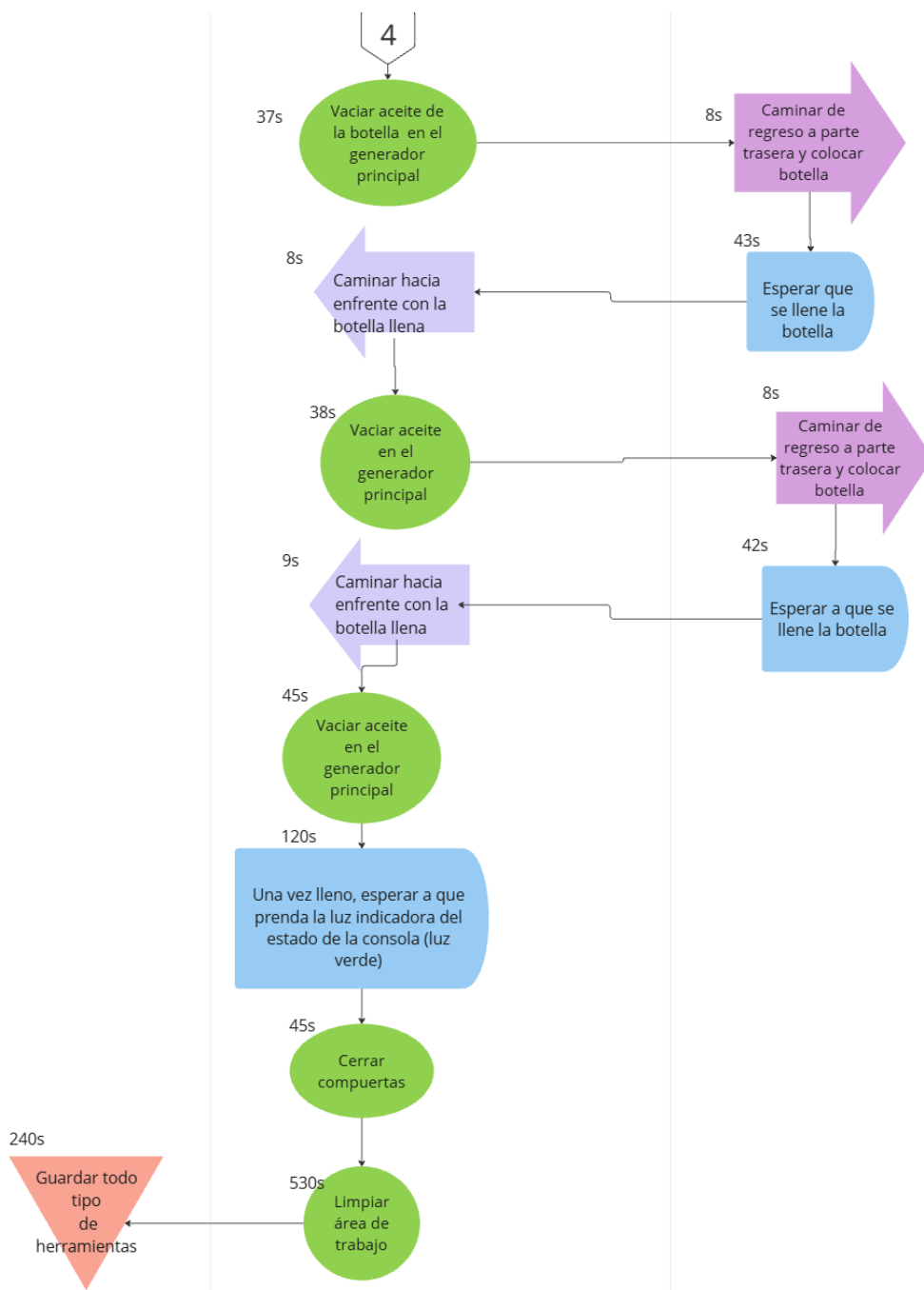


Figura 24. Diagrama de proceso para reinicio de consola principal.

El procedimiento comienza activando el equipo manualmente para iniciar el proceso de drenado y recarga de aceite, se tomó una botella de agua de un litro para drenar aceite del filtro largo ubicado en la parte trasera de la consola para poder llenar la caja azul que se encuentra en la consola principal para que pueda reiniciar con su función la consola. Sin embargo, este paso se repite varias veces, caminando entre la parte trasera y delantera con la botella hasta completar la transferencia de aceite.

Finalmente se espera a que la luz indicadora del estado de la consola cambie a verde, lo que confirma que está funcionando nuevamente de manera adecuada. Se cierran las compuertas del equipo y se procede a limpiar el área de trabajo, retirando cualquier residuo de aceite o herramienta utilizada, dejando el área organizada y limpia.

Observaciones generales registradas en la auditoría

Durante el proceso el operario se ve obligado a desplazarse hasta un depósito de basura demorando 9 minutos en ir y retomar el procedimiento. Esta situación resulta una pérdida significativa de tiempo, ya que el operario debe interrumpir el procedimiento en curso para realizar este traslado. Es importante destacar que se observaron diversos movimientos innecesarios dentro del procedimiento, como la necesidad del operario de dirigirse repetidamente a su caja de herramientas para buscar las herramientas necesarias según la actividad a realizar.

De igual forma se observó que dentro de la caja de herramientas se tiene mucha herramienta innecesaria lo que entorpece al momento de buscar una herramienta en específico. Estos movimientos adicionales contribuyen a una disminución en la eficiencia del proceso y podrían optimizarse mediante una planificación más efectiva y una disposición más organizada de los recursos y herramientas necesarios

Al proceder con el encendido del equipo, se identificó un contratiempo cuando el indicador luminoso no pasaba al color verde y se mantenía en rojo, indicando que no podía funcionar aún o que algo estaba incorrecto. Se descubrió que era necesario llenar la caja de almacenamiento de aceite azul, situada en la parte frontal, hasta alcanzar un nivel adecuado para garantizar su correcto funcionamiento.

Durante este proceso, se evidenció la presencia de desperdicios de movimiento, ya que fue necesario drenar el aceite de la parte trasera del equipo, proveniente del filtro largo, en una botella de agua de un litro para poder llenar el contenedor azul, este procedimiento debe repetirse en múltiples ocasiones, lo que resultó una pérdida significativa de tiempo, dada esta situación solicité la colaboración del encargado de seguridad de la empresa, quien proporcionó una botella de agua adicional para poder agilizar el proceso, se realizó un llenado de 10 botellas, un poco más rápido teniendo dos, esto permitiendo resolver la situación con de manera eficiente y logrando que el equipo trabajará de manera adecuada.

Propuestas de mejora

La siguiente propuesta de mejora tiene como objetivo reducir los tiempos del procedimiento de

trabajo para el Servicio de Mantenimiento Preventivo de equipos de lubricación por niebla marca LubriMist® Modelo SSV, mediante la optimización del flujo de trabajo y la incorporación de herramientas que favorecen la ergonomía del operario.

Los diagramas de proceso permitieron identificar y eliminar actividades repetitivas y por ello se realizó una reorganización de las tareas del personal. Como parte de la mejora, se incluyen actividades específicas para el encargado de seguridad que acompaña en toda la actividad al operario, estas actividades se integraron analizando que estas sean compatibles con sus responsabilidades como encargado de seguridad, garantizando que su función prioritaria no se vea comprometida.

1. Incorporación de materiales

Se recomienda la implementación de dos elementos: Un tanque con capacidad de 50 litros y una mesa elevadora hidráulica de doble tijera.

El tanque permite almacenar el aceite, durante todo el proceso para que este pueda volverse a verter para reiniciar la consola, evitando drenar aceite en la botella de agua de 1 litro para llenar la caja azul que se encuentra dentro de la consola principal, eliminando tiempos de traslado. El tanque que se recomienda es un tanque cuadrado horizontal de plástico que podemos observar en la Figura 27



Figura 25. Tanque de 50 litros de capacidad recomendado.

La mesa elevadora facilita la manipulación del tanque al permitir su elevación, eliminando la necesidad de que el operario lo cargue, reduciendo el riesgo de lesiones musculoesqueléticas y permitiendo que el proceso sea más rápido ya que se minimizan los desperdicios de movimiento, traslado y espera asociados con la recolección y transporte de líquidos en la botella. Generando un entorno más seguro, eficiente y ergonómico. Se recomienda una mesa elevadora hidráulica de doble tijera, que podemos observar en la siguiente Figura 28.



Figura 26. Mesa elevadora hidráulica de doble tijera.

Esta mesa se considera una inversión versátil y funcional para la empresa, a pesar de que su implementación inicial está orientada al este servicio de mantenimiento, su uso puede extenderse al manejo y transporte de tambos de aceite los cuales la empresa utiliza con frecuencias y para cualquier servicio de mantenimiento que necesite manipular cargas pesadas, lo cual genera un beneficio a largo plazo.

De igual forma se hace la recomendación de implementar una manguera la cual nos servirá como conducto para vaciar la caja azul dentro del tanque antes propuesto de 50 litros y en el momento del reinicio de la consola servirá para verter el aceite del tanque hacia la misma consola para que esta tenga el aceite necesario para poder reiniciarla.

La manguera que se propone es de 1 metro de largo de teflón con acero inoxidable de diámetro ½” Figura 29 ya que esta es ideal para transportar aceite debido a su alta resistencia química y térmica, evitando la corrosión o degradación del material, esta permite un flujo constante y eficiente facilitando el transporte del aceite sin perdidas ni obstrucciones



Figura 27. Manguera Menco de teflón PTFE ½ con acero inoxidable.

2. Caja de herramientas

Se recomienda el uso de una caja de herramientas seccionada que permita dividir el contenido de manera organizada, un compartimiento exclusivamente para las herramientas indispensables del mantenimiento, otro para los filtros y un tercero para herramientas adicionales que considere el operario llevar como respaldo.

Esto con la finalidad de facilitar la localización rápida de la herramienta esencial, reduciendo el tiempo en la búsqueda ya que anteriormente esta iba desordenada, entorpeciendo la eficiencia del proceso.

La caja de herramientas que se recomienda la observamos en la Figura 30, es la Caja de herramientas 19x25, 3 en 1 Desmontable 102644 Marca Truper.



Figura 28. Caja de herramientas recomendada marca Truper.

3. Propuesta de cubeta para residuos

Se propone que la cubeta de 20 litros utilizada para el vaciado de aceite y recolección de residuos en el procedimiento sea destinada exclusivamente para el depósito de residuos durante el proceso.

Esta medida tiene como objetivo evitar interrupciones innecesarias en el flujo de trabajo, ya que actualmente el operario pierde (del tiempo que pierda) tiempo desplazándose constantemente hacia otra parte de la planta a desechar los residuos. Con esta nueva estrategia la cubeta permanece en el área de trabajo hasta que se finalice el mantenimiento, lo que generaría realizar un solo viaje al final del procedimiento; contribuyendo en la optimización del tiempo del operario y eliminando el tiempo de pausa generado por trasladar la basura.

4. Propuesta de actividades al personal de seguridad

Dentro de la planta petroquímica, es indispensable la presencia de un encargado de seguridad, el cual estará durante todo el proceso de mantenimiento supervisando el cumplimiento normativo, identificando y mitigando riesgos, previniendo incidentes por cualquier atmósfera peligrosa y protegiendo la ergonomía y salud del operario.

Por esta razón, únicamente se propone asignarle actividades complementarias, como alcanzar herramientas desde la caja de herramientas hasta la ubicación del operario o sostener elementos durante la ejecución de las labores de mantenimiento, en la Figura 31 se muestra el diagrama de proceso que se propone. Estas tareas no interfieren con sus responsabilidades principales de supervisión y prevención de riesgos.

Los siguientes cursogramas ilustran detalladamente las principales actividades que llevarán a cabo el operario, observaremos sus actividades en la Figura 32 y la persona encargada de seguridad en la Figura 33 durante el proceso de mantenimiento preventivo de la máquina generadora de niebla.

Actividades personal de seguridad			Operación	Transporte	Espera	Almacenaje	Inspección
Inspección general y preparación de consola para mantenimiento		Tiempo (s)	●	➔	⏸	▼	■
1	Llenado de análisis de seguridad	250					1
2	Checar sistema de alarma y temperatura	300					1
3	Tomar lecturas de la consola	250	1				
4	Desplazarse a la consola de respaldo	37		1			
5	Revisar manómetros y esperar a que baje a 22 in/water	324					1
6	Abrir escape de consola de respaldo para que baje más rápido	31	1				
7	Caminar por mesa de elevación manual	15		1			
8	Colocar mesa de elevación manual debajo de la consola	16	1				
9	Caminar por contenedor y manguera que se encuentra a un lado de la caja de herramientas en el pasillo	27		1			
10	Poner contenedor y manguera sobre mesa de elevación manual y activar frenos	15	1				
11	Sostener manguera de salida de aceite	990	1				
Caja azul dentro de la consola de niebla principal							
12	Trasladar placa trasera de depósito azul a piso	8		1			
13	Limpiar elementos de placa trasera	115	1				
14	Acercar placa limpia	10	1				
15	Ir a caja de herramientas por corcho nuevo	15		1			
Filtro principal							
16	Caminar hacia caja de herramientas por filtro nuevo	10		1			
Filtro largo del generador de niebla auxiliar							
17	Caminar a caja de herramientas por filtro largo y filtro de la consola principal	18		1			
Reinicio de consola principal							
18	Empezar con el proceso de elevación de la mesa de elevación manual a la altura adecuada	23	1				

Figura 29. Cursograma de actividades de la persona encargada de seguridad.

5. Reorganización de tareas del operario

La reorganización de tareas del operario se llevó a cabo con el objetivo de optimizar el flujo de trabajo y reducir desperdicios de tiempo y movimientos repetitivos. Con la incorporación del tanque de 50 litros y la mesa elevadora hidráulica de doble tijera, se disminuye la necesidad de desplazamientos constantes, favorece la ergonomía y disminuye el desgaste físico del operario que se daba por la manipulación de la cubeta y el traslado de ella continuamente.

Actividades Operario		Operación	Transporte	Espera	Almacenaje	Inspección
inspección general y prepración de consola para mantenimiento		●	➔	●	▼	■
1	Desenergizar consola principal	1				
2	Trasladar a consola auxiliar		1			
3	Energizar consola auxiliar	1				
4	Desplazarse hacia consola principal (enfrente)		1			
5	Abrir llave para drenar aceite	1				
6	Colocar manguera de salida de aceite de caja azul al contenedor	1				
7	Ir por bote con líquido desengrasante		1			
8	Rociar todo el equipo por fuera con líquido desengrasante	1				
9	Limpiar con un trapo la superficie donde se aplicó el desengrasante	1				
10	Caminar por llave para abrir depósito azul dentro de la consola principal		1			
Caja azul dentro de la consola de niebla principal						
11	Desatornillar 12 tornillos	1				
12	Abrir tapa y ponerla en el suelo	1				
13	Desatornillar placa trasera dentro del depósito azul de la consola principal	1				
14	Desatornillar filtro dentro de generador de la caja azul	1				
15	Limpiar filtro de caja azul	1				
16	Tirar residuos en cubeta destinada para residuos	1				
17	Quitar corcho protector de la tapa del generador de niebla principal	1				
18	Limpiar tornillos y tuercas del generador principal	1				
19	Armar y atornillar todo nuevamente	1				
Filtro principal						
20	Caminar hacia filtro de izquierda blanco, filtro principal		1			
21	Quitar filtro	1				
22	Vaciar aceite y residuos sobrantes en cubeta de residuos	1				
23	Colocar nuevo filtro y enroscar bien	1				
Limpieza del generador auxiliar						
24	Trasladar a parte trasera donde se encuentra el generador auxiliar		1			
25	Volver a limpiar parte trasera con líquido desengrasante	1				
Filtro largo del generador auxiliar						
26	Drenar filtro largo del generador de niebla auxiliar	1				
27	Desatornillar filtro dentro de generador de la caja azul	1				
28	Cambiar filtro y enroscarlo de nuevo	1				
29	Tirar residuos en cubeta de residuos	1				
30	Desenroscar último filtro de aceite que se encuentra a mano derecha de la consola principal	1				
31	Drenar aceite de ese filtro en cubeta de residuos	1				
32	Cambiar filtro y enroscarlo de nuevo	1				
33	Enroscar filtro	1				
Reinicio de consola principal						
34	Activar equipo manualmente	1				
35	Esperar a que la mesa de elevación este a la altura adecuada			1		
36	Colocar manguera en salida del contenedor y del otro lado en la entrada de la caja azul del generador principal	1				
37	Sostener hasta que el sensor indique nivel adecuado	1				
38	Una vez lleno, esperar a que prenda la luz indicadora del estado de la consola (Luz verde)			1		
39	Cerrar compuertas	1				
40	Limpiar área de trabajo	1				
41	Guardar todo tipo de herramientas					1

Figura 30. Cursograma de actividades recomendadas para el operario.

SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Se realizaron simulaciones utilizando la aplicación SIMIO, de cada uno de los seis grupos de actividades identificados, con base en los tiempos y secuencias observadas durante la visita, con el objetivo de analizar y validar mejoras en el proceso de mantenimiento observado durante la visita al centro petroquímico.

En primera instancia se modeló el comportamiento del proceso original para cada grupo de actividades y posteriormente se simuló la versión optimizada de cada uno, considerando las propuestas de mejora planteadas tras el análisis de los datos recolectados. Dicha simulación permitió observar el comportamiento del proceso ante cambios sin necesidad de intervención directa en el entorno ya que no fue posible realizar una segunda visita para implementar las mejoras.

Como primer paso se elaboró un croquis de la planta mostrado en la Figura 33 para poder representar el entorno de trabajo. Esto nos permitió ubicar correctamente las estaciones de trabajo, las rutas del operario y la secuencia lógica de las actividades que se llevaron a cabo durante el mantenimiento.

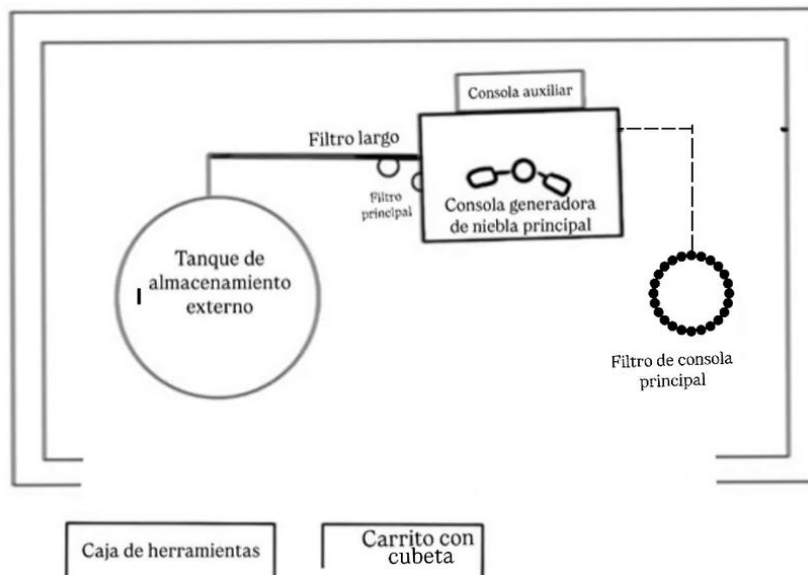


Figura 33. Croquis del equipo de Lubricación por niebla marca LubriMist Modelo SSV, ubicado dentro del centro petroquímico de Cangrejera.

Para el desarrollo de la simulación se utilizó la metodología basada en las siete etapas clásicas del proceso de simulación. Metodología que fue aplicada a cada uno de los seis grupos de actividades observados en el centro petroquímico.

1. Definición del problema: Para cada grupo de actividades después de un análisis se detectó que el tiempo de ejecución era elevado debido a desplazamientos algunos repetitivos y otros innecesarios del operario entre estaciones, así como también se

detectaron también pausas no programadas. Este análisis con el objetivo de proponer una mejora que redujera el tiempo total de operación de cada grupo de actividades sin comprometer la calidad ni la seguridad del operario. Se consideraron como restricciones el número de operarios ya que solo contamos con uno y el personal de seguridad. Se observan las actividades que realiza el operario en el ANEXO 3, junto con las actividades que se planean eliminar.

2. Formulación del modelo: Se desarrollaron los diagramas de flujo representando el proceso actual tal como se realiza en la planta.
3. Recolección de datos: Los datos fueron recolectados directamente durante la visita al centro petroquímico, se registraron los tiempos de ejecución de cada actividad en segundos, considerando los tiempos que tarda en trasladarse entre actividades. Es importante mencionar que solo se contó con una oportunidad para realizar esta recolección.
4. Implementación del modelo: En total se llevaron a cabo 12 modelos de simulación, 6 correspondientes al proceso original tal y como fue observado durante la visita y 6 correspondientes al proceso optimizado con base en las propuestas de mejora. Realizar las simulaciones por grupo de actividades permitió realizar un análisis detallado de cada segmento del proceso de mantenimiento.

A continuación, se describe el desarrollo para cada uno de los siguientes grupos de actividades del proceso original:

A) Inspección general, preparación de consola para mantenimiento

Este primer grupo de actividades corresponde al proceso de inspección y preparación de la consola para el mantenimiento, en este proceso el operario realiza una inspección inicial en la cual se verifica el estado general del sistema.

En el proceso original (Figura 34) se simularon 23 actividades realizadas únicamente por el operario, con una duración de 2818 segundos (46.9 minutos). Durante el análisis se observó que algunas de las actividades podrían ser ejecutadas en paralelo o que podrían ser llevadas a cabo por la persona designada de seguridad que lleva la empresa sin comprometer sus responsabilidades ni la seguridad.

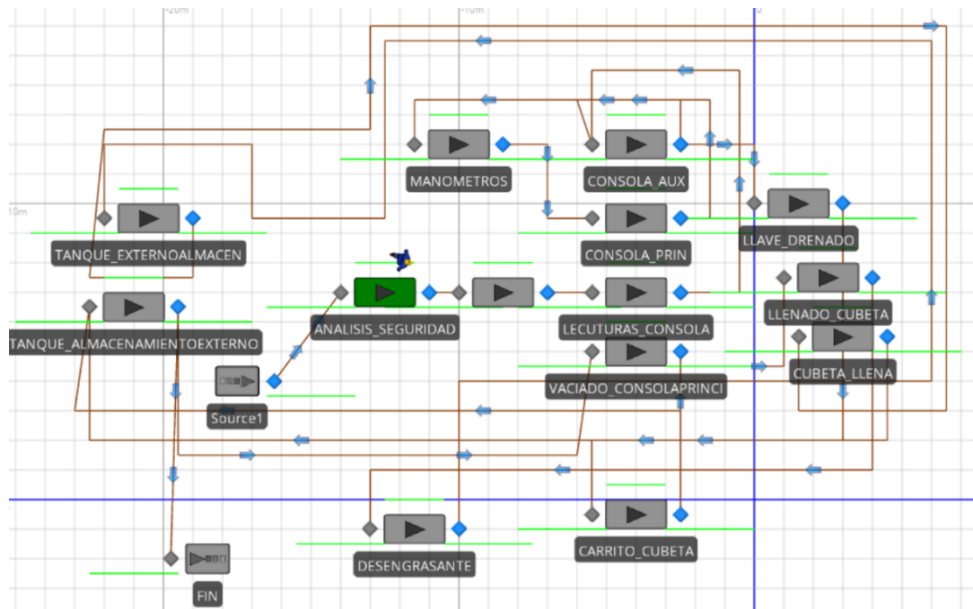


Figura 34. Inspección general, preparación de consola para mantenimiento (proceso original).

La propuesta de mejora consiste en involucrar al personal de seguridad para que colabore de forma coordinada sin interrumpir sus funciones principales, modificando el proceso para que este se realiza ahora con actividades simultáneas.

En este nuevo proceso mostrado en la Figura 35 se simulan 10 actividades que realiza el operario con un total de 684 segundos (aproximadamente 11 minutos con 24 segundos), mientras que el personal de seguridad realiza 11 actividades con una duración de 1815 segundos (aproximadamente 30 minutos con 15 segundos), permitiendo una distribución mas eficiente del trabajo.

En este punto el personal de seguridad tarda más en sus actividades ya que es el encargado de hacer el llenado de análisis, de la verificación de los sistemas de alarma y temperatura y de tomar algunas lecturas de la consola, así como también de acercar implementos que utilizará el operario como la mesa de elevación manual, el contenedor y la manguera con la que se drenará el aceite.

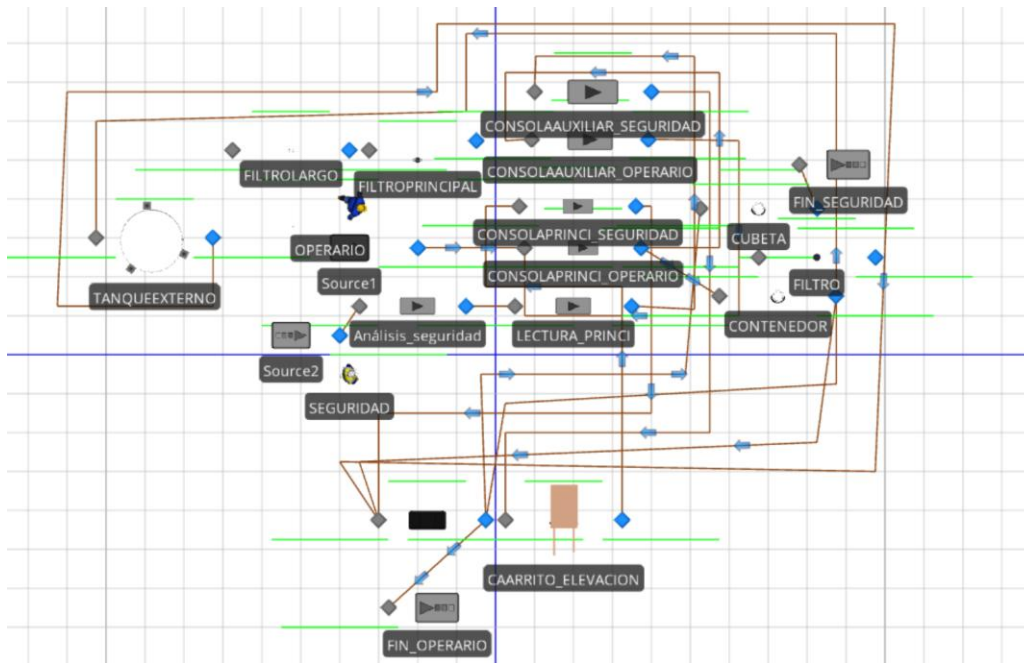


Figura 35. Inspección general, preparación de consola para mantenimiento (proceso sugerido).

Para realizar la validación de los modelos se necesitan comparar los tiempos registrados durante la visita al centro petroquímico con los tiempos obtenidos al ejecutar la simulación del proceso original.

Se realizó un experimento para que el modelo corriera 10 veces, tras finalizar este se puede observar el tiempo en el que el operario y el personal de seguridad permanecen dentro del sistema, así como el intervalo de confianza para el tiempo de permanencia, el cual nos indica la variabilidad esperada en el sistema, mientras menor sea el valor, mayor será la precisión del modelo en la Tabla 11 se presenta el tiempo observado, simulado y el porcentaje de diferencia entre los procesos planteados de la inspección general y preparación de la consola de mantenimiento.

A) Inspección general y preparación de consola para mantenimiento (proceso original)				
Procesos	Tiempo observado [s]	Tiempo simulado [s]	Diferencia %	Intervalo de confianza de simulación
Proceso original	2818	2877	2.09	0.121
Proceso sugerido operario	689	715	3.77	0.0005
Proceso sugerido seguridad	1815	1915	5.51	0

Tabla 11. Verificación de simulación en el proceso A.

Gracias a la ejecución de varias tareas al mismo tiempo por parte del operario y el personal de seguridad el tiempo reduce ya que el tiempo total final ahora es de 2255 segundos, lo que representa una reducción considerable al respecto del proceso original.

En la Tabla 12 se observa la comparación de tiempos entre el proceso original y el sugerido simulado. Como resultado se obtiene una reducción del tiempo de 19.97% es decir se redujo el tiempo 9 minutos con 23 segundos.

Escenario	Tiempo total (seg)	Tiempo total (min)	Reducción %
Proceso original	2818	46:58	-
Proceso sugerido	2255	37:35	19.97%

Tabla 12. Comparación de tiempos de simulación y proceso original del proceso A.

B) Mantenimiento de la caja azul dentro de la consola de niebla principal

Dentro de estas actividades en el proceso original todas las tareas son realizadas únicamente por el operario, lo que resulta en tiempos de mantenimiento altos. En el modelo original (Figura 36) se identificaron 15 actividades con una duración de 2291 segundos (38 minutos con 11 segundos).

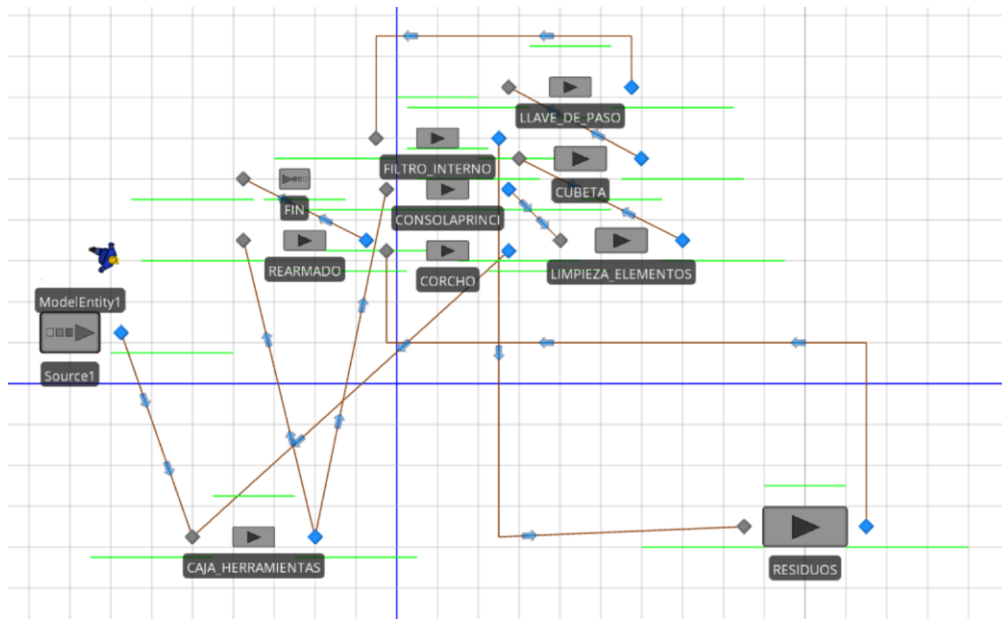


Figura 36. Simulación del mantenimiento de la caja azul dentro de la consola de niebla principal (proceso original).

La propuesta de mejora consistió en involucrar al personal de seguridad para que realice algunas tareas sin interrumpir sus responsabilidades. Bajo esto se modeló el nuevo sistema (Figura 37) donde el operario se encarga de 8 actividades con una duración de 1266 segundos (aproximadamente 21 minutos 6 segundos), mientras que el personal de seguridad ejecuta 4 actividades con un tiempo total de 148 segundos (2 minutos 20 segundos).

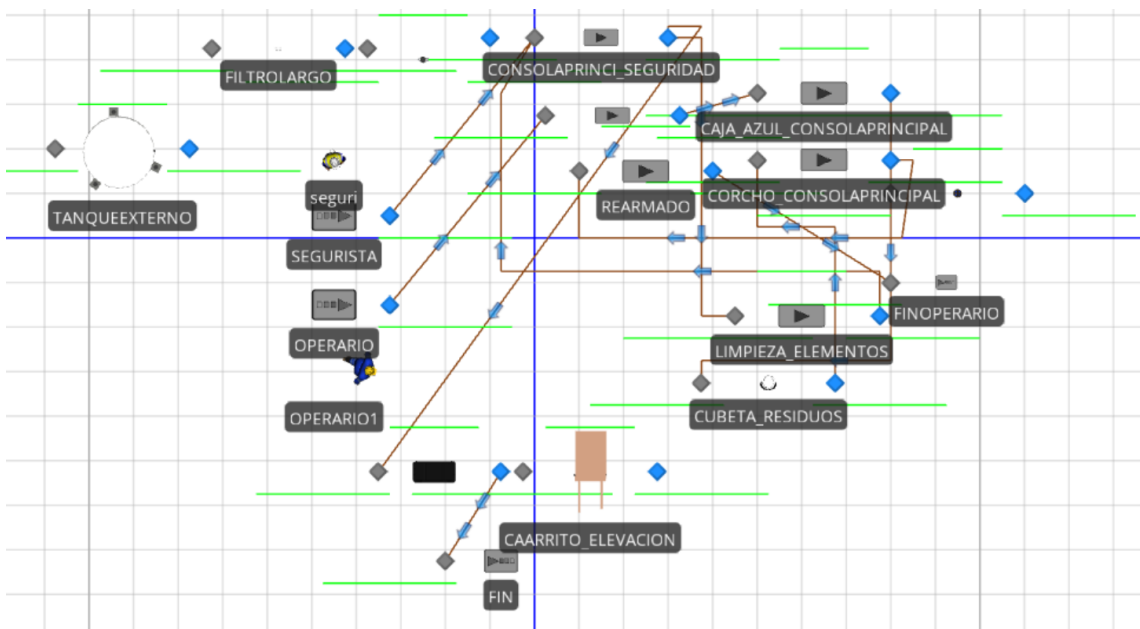


Figura 37. Simulación del mantenimiento de la caja azul dentro de la consola de niebla principal (proceso sugerido).

Se realizó la validación correspondiente de los datos arrojados por la simulación después de realizar un experimento para que el modelo corriera 10 veces. Observamos en la Tabla 13 el tiempo observado durante la visita y el tiempo que pasa el operario dentro del sistema, así como el intervalo de confianza que nos arroja la simulación tras correr el modelo 10 veces.

B) Caja azul dentro de la consola de niebla principal				
Procesos	Tiempo observado [s]	Tiempo simulado [s]	Diferencia %	Intervalo de confianza de simulación
Proceso original	2291	2378	3.80%	0.5724
Proceso sugerido operario	1266	1267	0.08%	0
Proceso sugerido seguridad	148	158	6.76%	0

Tabla 13. Verificación de la simulación del proceso B.

Dado que las actividades se realizan simultáneamente, corresponde a un tiempo de 1266 segundos del proceso. En la tabla 14 se observa el porcentaje de reducción de acuerdo con los cambios propuestos y simulados Teniendo como resultado una reducción en el tiempo de 44.74% es decir el proceso ahora es 17 minutos con 5 segundos más corto.

Escenario	Tiempo total [s]	Tiempo total [min]	Reducción %
Proceso original	2291	38:11	-
Sugerido-simulado	1266	21:06	44.74%

Tabla 14. Comparación de tiempos de simulación y proceso original del proceso B.

C) Mantenimiento del Filtro principal

En el proceso original el operario realiza todas las actividades relacionadas con el desmontaje, inspección, limpieza y reinstalación del filtro (Figura 38). El operario realiza 5 actividades con una duración total de 100 segundos.

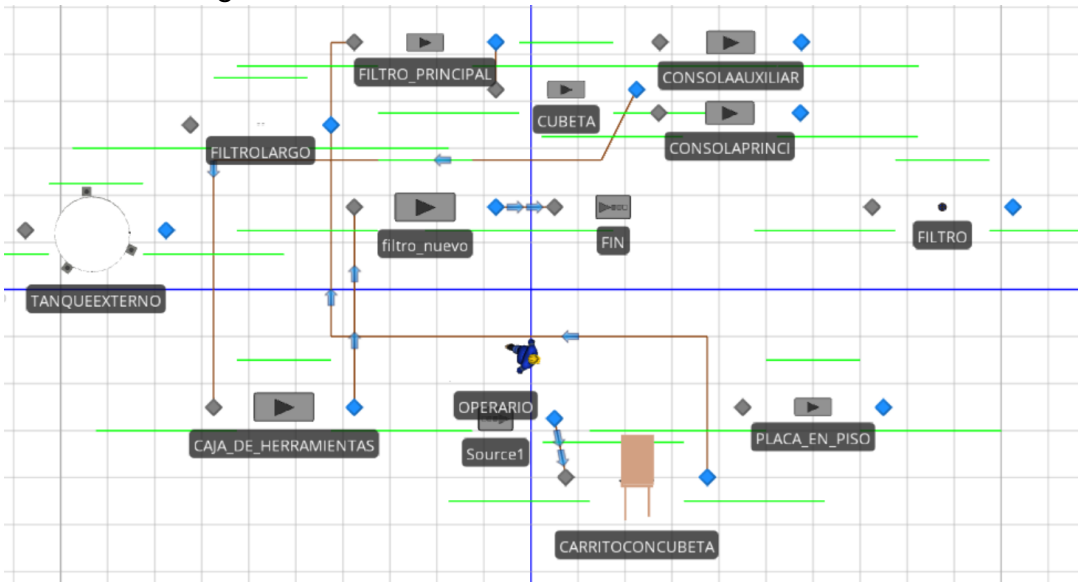


Figura 38. Simulación del mantenimiento del filtro principal (proceso original).

Dado a que las tareas se pueden ejecutar en paralelo se ajustan actividades para que el personal de seguridad las lleve a cabo apoyando al operario sin descuidar sus responsabilidades (Figura 39).

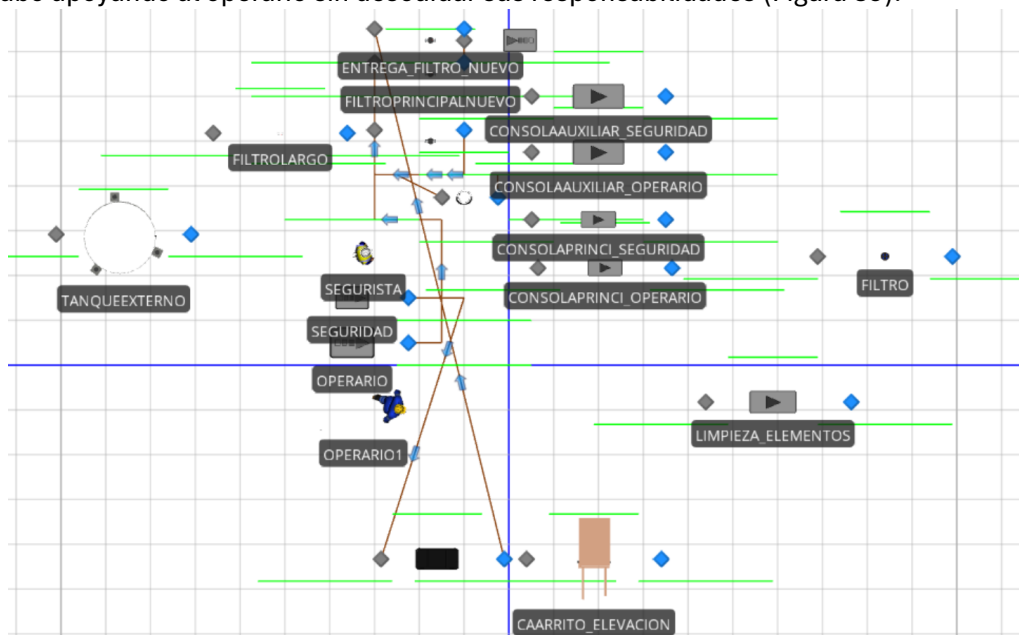


Figura 39. Simulación del mantenimiento del filtro principal (proceso sugerido).

Se realizó la validación correspondiente de los datos arrojados por la simulación. Observamos en la Tabla 14 el tiempo observado durante la visita y el tiempo que pasa el operario dentro del sistema, así como el intervalo de confianza que nos arroja la simulación tras correr el modelo 10 veces.

D) Filtro principal				
Procesos	Tiempo observado [s]	Tiempo simulado [s]	Diferencia %	Intervalo de confianza de simulación
Proceso original	100	101.6	1.60%	0
Proceso sugerido operario	90	91	1.11%	0
Proceso sugerido seguridad	10	12	20.00%	0

Tabla 15. Verificación de la simulación del proceso C.

El tiempo del proceso se reduce a 90 segundos ya que el personal de seguridad apoya al operario acercando el filtro hacia donde se encuentra el para ahorrarle un tiempo de traslado. A continuación, en la Tabla 16 observamos la comparación de tiempos donde se observa una reducción del 10% en el tiempo de proceso, es decir se reduce 10 segundos el proceso.

Escenario	Tiempo total [s]	Tiempo total [min]	Reducción %
Proceso original	100	1:40	-
Proceso sugerido	90	1:30	10%

Tabla 16. Comparación de tiempos de simulación y proceso original del proceso.

E) Limpieza de generador auxiliar

Debido a que este grupo de actividades el operario realizaba algunas actividades repetitivas el objetivo de la simulación fue analizar si era posible reducir el tiempo total mediante la optimización de la secuencia ya que realizaba la limpieza con desengrasante dos veces. En el proceso original (Figura 40) el operario ejecutaba tres actividades con una duración de 558 segundos (9 minutos 10 segundos).

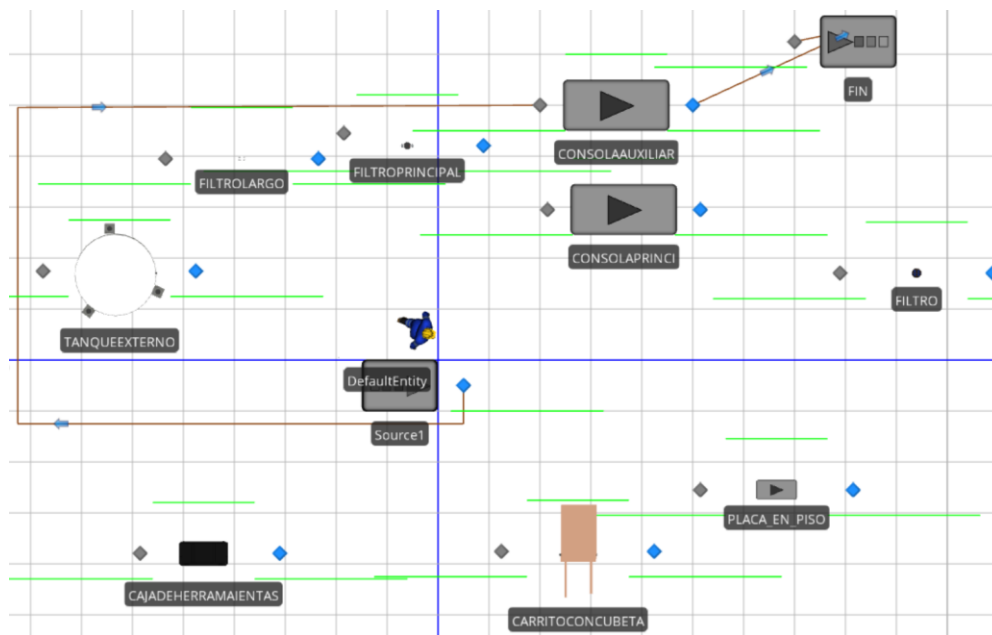


Figura 40. Simulación de la Limpieza del generador auxiliar (proceso original).

A partir del análisis se propone reducir las actividades a 2 más directas y eficientes como se muestra en la simulación de la Figura 41 con una duración total de 308 segundos (5 minutos 8 segundos).

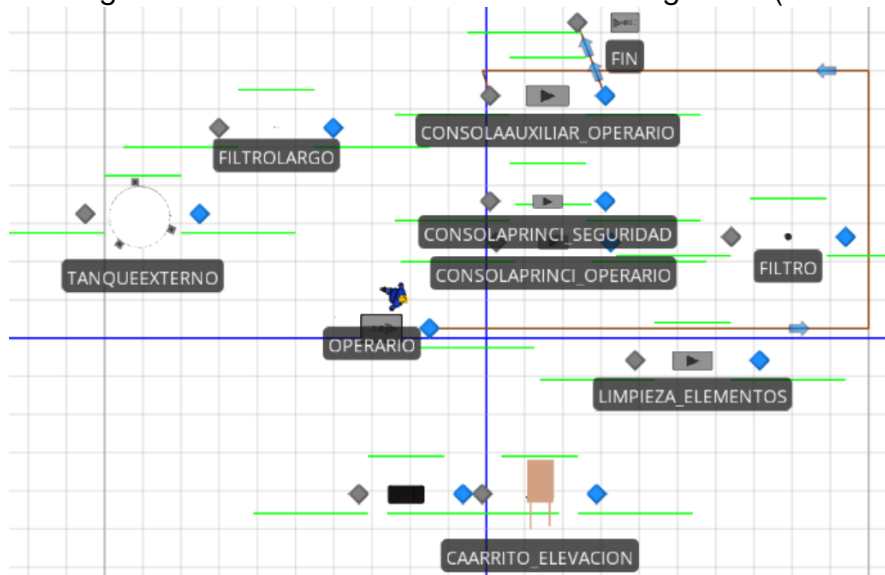


Figura 41. Simulación de la limpieza del generador auxiliar (proceso sugerido).

Para realizar la validación se realizó el experimento de correr la simulación 10 veces. Observamos en la Tabla 17 el tiempo observado durante la visita y el tiempo que pasa el operario y el personal de seguridad dentro del sistema, así como el intervalo de confianza que nos arroja la simulación.

D) Limpieza de generador auxiliar				
Procesos	Tiempo observado [s]	Tiempo simulado [s]	Diferencia %	Intervalo de confianza de simulación
Proceso original	558	558	0.00%	0
Proceso sugerido operario	308	308.16	0.05%	0
Proceso sugerido seguridad	-	-	-	-

Tabla 17. Verificación de la simulación del proceso D.

Tras la realización de ambas simulaciones observamos en la tabla 18 la reducción de tiempo al realizar la simplificación de pasos logrando una mayor fluidez entre tareas teniendo una reducción de 44.8% del tiempo, es decir una reducción de 4 minutos 10 segundos en el proceso sugerido.

Escenario	Tiempo total [s]	Tiempo total [min]	Reducción %
Proceso original	558	9:18	-
Proceso sugerido	308	5:08	44.8%

Tabla 18. Comparación de tiempos de simulación y proceso original del proceso D.

F) Mantenimiento de filtro largo del generador de niebla auxiliar

Este grupo de actividades corresponde al mantenimiento del filtro largo que forma parte del generador de niebla auxiliar. En el modelo original (Figura 42) el operario ejecuta 10 actividades teniendo una duración total de 873 segundos (14 minutos 33 segundos).

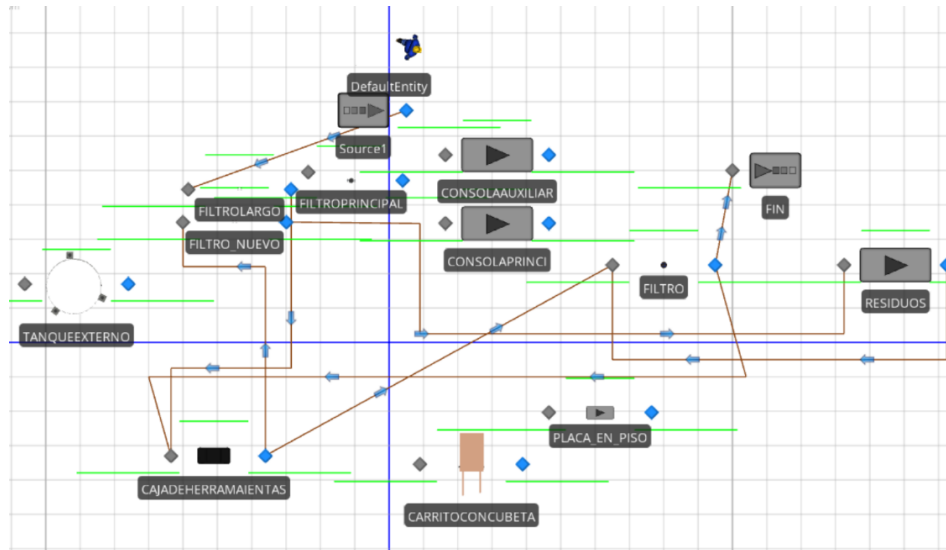


Figura 42. Simulación del mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar (proceso original).

En el proceso sugerido y simulado de la Figura 43 se eliminan 2 actividades no esenciales y se reorganiza el procedimiento, quedando 8 actividades a cargo del operario con una duración de 271 segundos (4 minutos 31 segundos) y 1 actividad a cargo del personal de seguridad con una duración de 18 segundos.

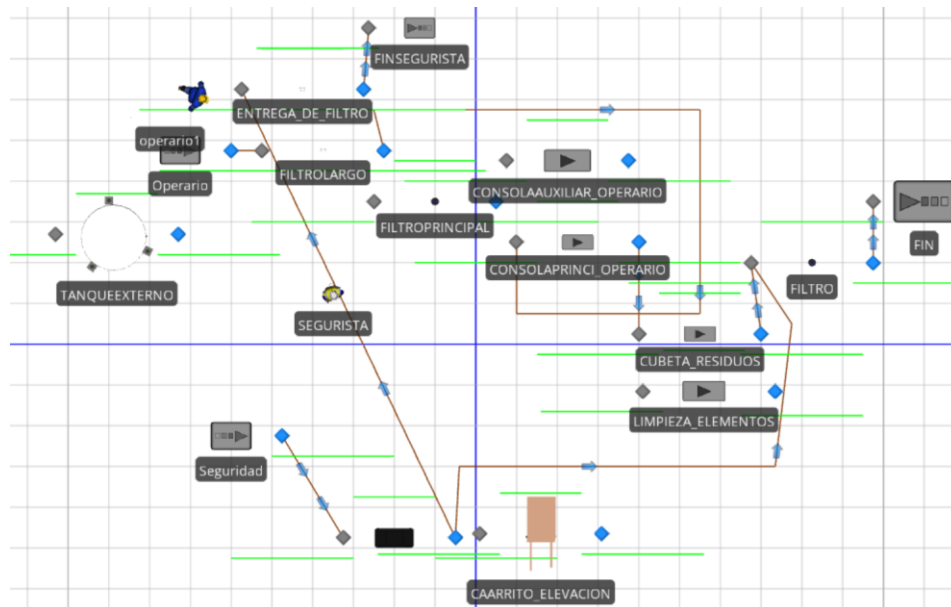


Figura 43. Simulación del mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar (proceso sugerido).

Para comprobar que la simulación esta correcta se realizó la validación de los datos después de realizar el experimento de correr la simulación 10 veces.

E) Filtro largo del generador de niebla auxiliar				
Procesos	Tiempo observado [s]	Tiempo simulado [s]	Diferencia %	Intervalo de confianza de simulación
Proceso original	873	907	3.89%	0.0102
Proceso sugerido operativo	271	275	1.48%	0
Proceso sugerido seguridad	18	20	11.11%	0

Tabla 19. Verificación de la simulación proceso E.

Debido a que las tareas se pueden realizar de forma simultánea el proceso sugerido tiene una duración total de 271 segundos, podemos observar en la tabla 20 el porcentaje de mejora el cual es de 68.9% es decir, el proceso es 10 minutos con 2 segundos más corto

Escenario	Tiempo total (seg)	Tiempo total (min)	Reducción %
Proceso original	873	14:33	-
Proceso sugerido	271	4:31	68.9%

Tabla 20. Comparación de tiempos de simulación y proceso original del proceso E.

G) Reinicio de consola principal

Este grupo de actividades corresponde al reinicio de la consola principal una vez finalizado el mantenimiento completo del sistema. En el proceso original observado en la Figura 45 el operario realiza una secuencia extensa de acciones altamente repetitivas.

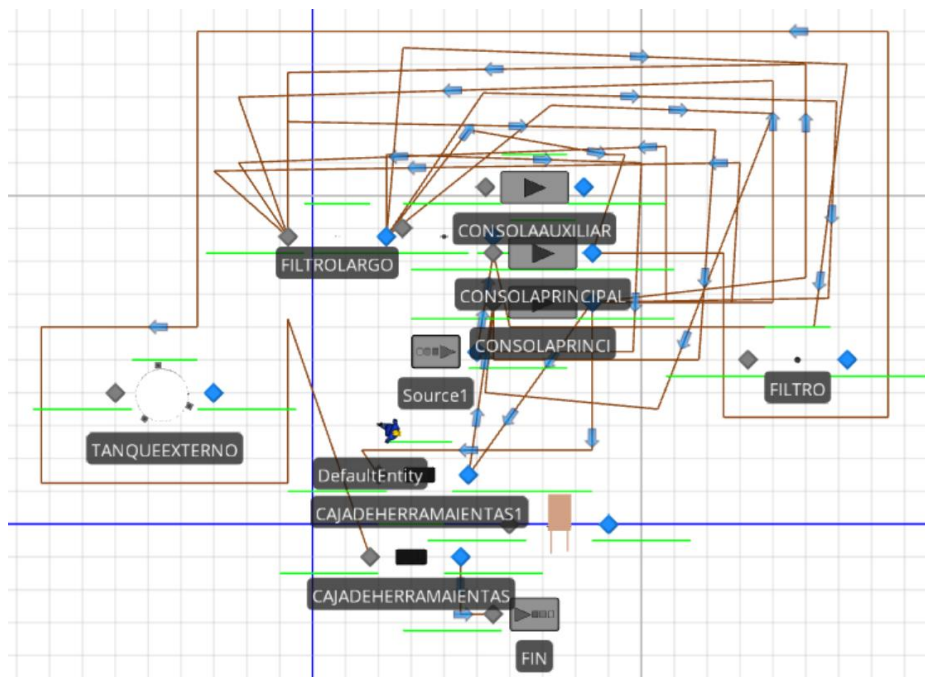


Figura 45. Simulación del reinicio de la consola principal (proceso original).

El objetivo de esta simulación fue reducir la carga operativa y minimizar los movimientos repetitivos, mediante la introducción de herramientas auxiliares como el carrito de elevación manual, el contenedor y la manguera. El operario realiza 22 actividades con una duración total de 1423 segundos (23 minutos 43 segundos). Dentro de este proceso se identificaron 17 actividades y traslados repetitivos.

En el proceso sugerido (Figura 46) se incorporan herramientas como un carro de elevación manual, una manguera y un contenedor, que permiten simplificar las tareas y eliminar los movimientos ya actividades repetitivas. En este proceso el personal de seguridad colabora con 1 actividad con una duración de 23 segundos, mientras que el operario realiza 8 actividades con una duración de 1380 (23 minutos).

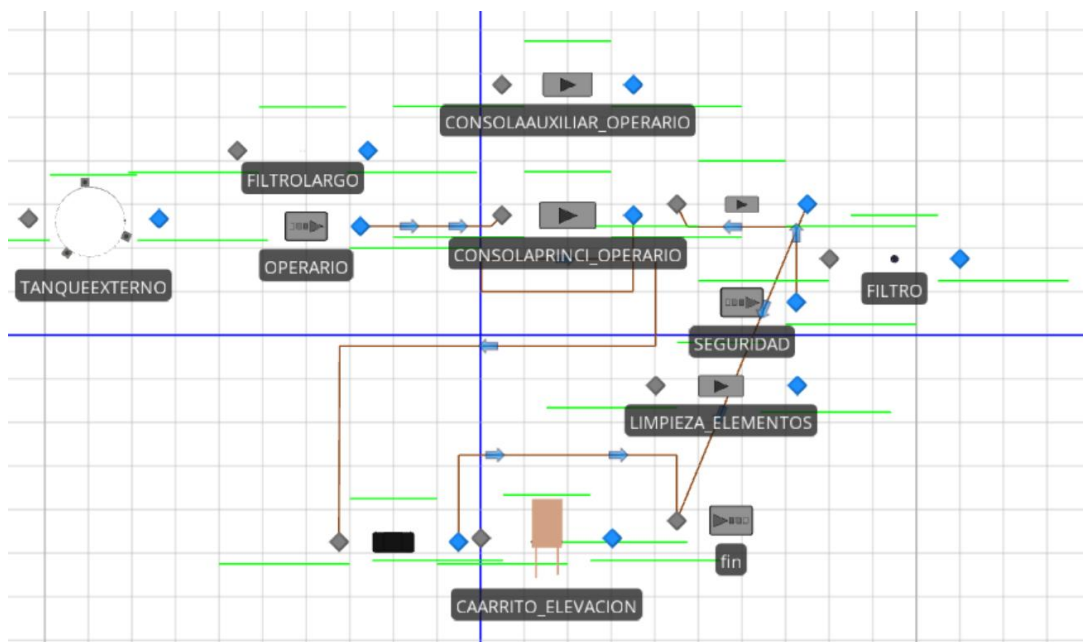


Figura 46. Simulación Reinicio de consola principal (proceso sugerido).

Finalmente, de igual forma se realizó un experimento de correr la simulación 10 veces para observar el tiempo en el que el operario y el personal de seguridad pasaba dentro del sistema, así como el intervalo de confianza de ambos.

F) Reinicio de consola principal				
Procesos	Tiempo observado [s]	Tiempo simulado [s]	Diferencia %	Intervalo de confianza de simulación
Proceso original	1423	1524	7.10%	0
Proceso sugerido operario	1371	1380	0.66%	0
Proceso sugerido seguridad	23	21.99	-4.39%	0

Tabla 21. Verificación para la simulación proceso F.

La diferencia con respecto al proceso original es ligeramente menor (52 segundos menos), la mejora radica principalmente en la eliminación de movimientos repetitivos, mejorando en condiciones ergonómicas y en el uso de herramientas necesarias que facilitan las actividades a realizar.

En la tabla 22 observamos la reducción de tiempo con respecto al proceso original el cual es 52 más

corto, es decir se observa una reducción de 3.7% en el tiempo.

Escenario	Tiempo total (seg)	Tiempo total (min)	Reducción %
Proceso original	1423	23:43	-
Proceso sugerido	1371	22:51	3.7%

Tabla 22. Comparación de tiempos de simulación y proceso original del proceso F.

La simulación de procesos es una herramienta fundamental que facilita el análisis de los procedimientos, ya que en algunos casos existen limitaciones para realizar múltiples observaciones o recolecciones de datos, como lo fue en el caso de este análisis, ya que solo fue posible realizar una sola visita al Centro Petroquímico y es imposible realizar pruebas en sitio por motivos de seguridad o acceso limitado.

Sin embargo, a través de la simulación se logró analizar de manera detallada el proceso para identificar áreas de mejora y evaluar propuestas. Esto permite ahorrar tiempo, reducir costos y minimizar riesgos, al proporcionarnos una representación precisa del sistema que facilita la toma de decisiones informadas antes de aplicarlo físicamente en la planta.

Análisis de resultados

Tras haber desarrollado la simulación de los seis grupos de actividades observados durante la visita al Complejo Petroquímico de Cangrejera, se evaluó el impacto de la propuesta de mejora basada en la redistribución de actividades, eliminación de movimientos repetitivos y la incorporación de herramientas auxiliares que no solo servirán para este mantenimiento sino para diversos procesos de mantenimiento en diversas máquinas en los que la empresa tiene actividad.

Este análisis permitió evaluar el sistema como un todo, más allá de cada bloque de actividades, con el fin de comparar la duración total del procedimiento en ambos escenarios.

El proceso original se compone de un total de 81 actividades secuenciales realizadas en totalidad por el operario, este proceso con una duración de 8063 segundos, lo que equivale a 2 horas con 14 minutos aproximadamente. En este proceso encontramos distintos factores clave que hacían que el proceso tardara mucho, entre ellos:

- Movimientos repetitivos excesivos
- Desplazamientos innecesarios
- Tiempos muertos entre actividades
- Falta de herramientas
- Falta de apoyo en tareas que podrían ser compartidas

En el proceso sugerido, las actividades fueron reorganizadas a partir de análisis de tiempos muertos, movimientos repetitivos, esfuerzos innecesarios y movimientos no ergonómicos, obteniendo 18

actividades correspondientes al personal de seguridad que fueron asignadas sin interrumpir en sus responsabilidades y 41 actividades para el operario, teniendo un total de 4075 segundos equivalente a 1 hora con 8 minutos. En este rediseño se integraron herramientas auxiliares como un carro de elevación manual, una manguera flexible y un contenedor, los cuales ayudaron a mejorar la ergonomía y reducir tiempos de traslado. En la tabla 23 podemos observar el resumen de resultados.

Proceso	TIEMPO TOTAL [s]	Número de actividades
Proceso original	8063	81
Proceso sugerido	4075	59

Tabla 23. Resumen de resultados.

La reducción fue un total de 4075 segundos es decir 1 hora con 7 minutos y 55 segundos, lo que equivale en una mejora del 49.46% y con una reducción de 32 actividades que no agregaban valor al proceso. Cabe destacar que hasta el momento en la empresa nunca se habían realizado análisis sistemáticos de mejora sobre este procedimiento. Esta ausencia de análisis permitió, que, al aplicar una metodología de análisis y estudio del trabajo, se identificaran ineficiencias significativas que antes no habían sido evidentes.

Tras este análisis se observan no solo beneficios en el tiempo, sino que también en los siguientes aspectos:

- Reducción del riesgo ergonómico, al eliminar actividades repetitivas disminuye la carga física sobre el operario y apoyarse en herramientas auxiliares que no solo servirán para este mantenimiento sino para la mayoría de los que realiza la empresa
- Distribución del esfuerzo operativo al incluir al personal de seguridad en actividades auxiliares únicamente para no interrumpir sus funciones principales
- La reorganización de actividades permite definir dentro de los manuales de procedimientos actividades estandarizadas para que puedan replicarse en un futuro de forma más eficiente.

Tras este análisis con ayuda de la simulación se logró comprobar que las propuestas de mejora planteadas son efectivas y viables. Los resultados obtenidos muestran que la redistribución de tareas, la eliminación de actividades innecesarias y el uso de apoyos que mejoran la ergonomía permiten reducir significativamente el tiempo total del procedimiento

CONCLUSIONES

Este proyecto permitió aplicar los conocimientos teóricos en prácticos dentro de un entorno industrial real como lo es el Centro Petroquímico de Cangrejera. En la visita al centro petroquímico, en donde observé el procedimiento de mantenimiento de la planta de lubricación por niebla.

En primer lugar, se realizó la revisión de los manuales de procedimientos utilizados en los centros petroquímicos y refinerías, los cuales están estructurados bajo los lineamientos de la norma ISO 9001, esta revisión sirvió como base para comprender los estándares actuales de los procesos operativos. En seguida se realizó la auditoría del mantenimiento preventivo a la maquina generadora de niebla de forma presencial en el Centro Petroquímico, en donde observamos directamente el procedimiento que se lleva a cabo en campo, tras el análisis de este, se aplicaron principios de estudio de métodos y medición del trabajo lo cual permitió establecer un diagnóstico técnico del procedimiento.

Se desarrolló un mapeo detallado del proceso de cada etapa mediante diagramas de flujo, lo cual facilitó el análisis de cada actividad. Así como también se verificó el cumplimiento de los estándares de seguridad y normativas, asegurando que las propuestas de mejora no comprometieron la integridad del personal. Las propuestas de mejora fueron orientadas a reducir los tiempos de inactividad, redistribuir tareas, eliminar movimientos repetitivos y buscar una mejora en la ergonomía.

Finalmente, mediante el uso del software de simulación SIMIO, se llevó a cabo la simulación de seis grupos de actividades, comparando el proceso original con una propuesta de mejora desarrollada con base en principios de ergonomía, eficiencia operativa y aprovechamiento de recursos. Teniendo como resultado del análisis una reducción del 49.46% en tiempo total del procedimiento, este impacto significativo resulta de la falta de análisis de procedimientos que hay dentro de la empresa, ya que solo se realizaron los manuales de procedimiento y el operario ha ido aprendiendo en la práctica, pero jamás se habían realizado cambios formales para lograr una mejora.

En conclusión, este proyecto integró el análisis documental, la observación en campo, propuesta de mejora y la simulación para cumplir íntegramente con los objetivos planteados.

Trabajar en Grupo SICELUB no solo me brindó una experiencia valiosa en campo, si no que me permitió contribuir en un proceso de mejora del servicio de mantenimiento a una planta de lubricación por niebla, brindándoles una opción de mejora que reduce el tiempo del servicio que realizan.

BIBLIOGRAFÍA

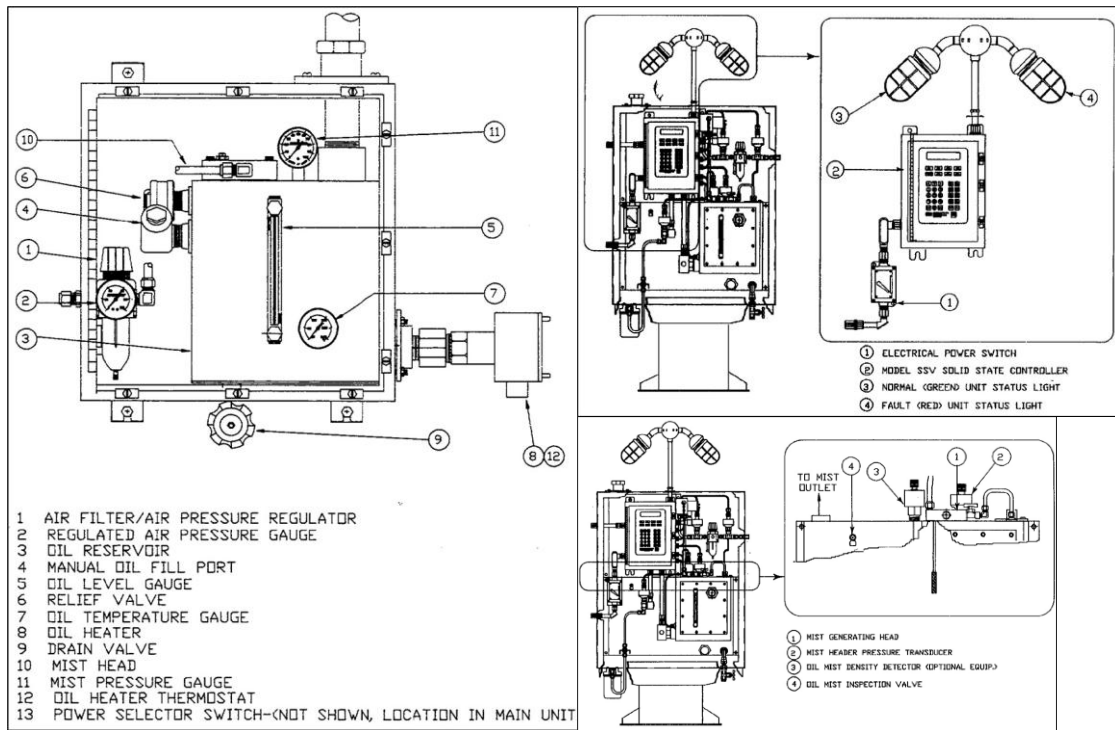
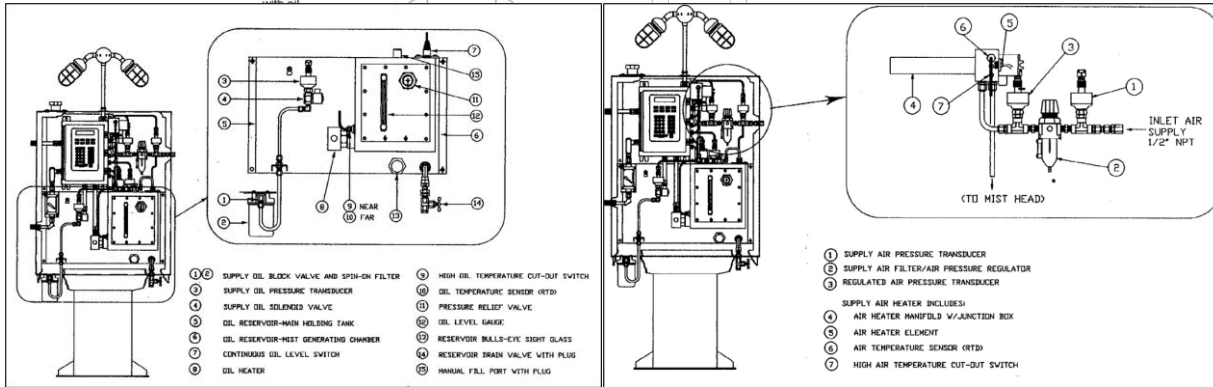
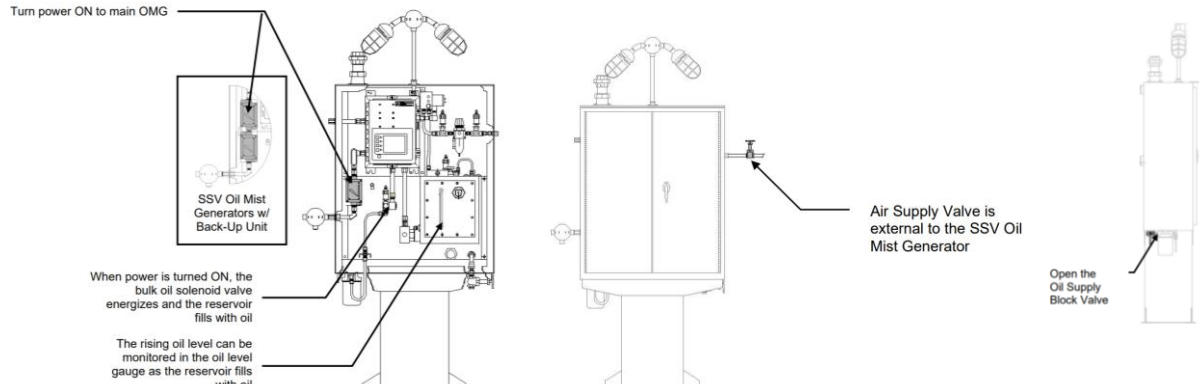
- Socconini, L. (2019). Lean manufacturing. Paso a paso. Marge books.
- Apuntes de materia *Análisis y Mejora de procesos*, Profesora Virginia Chiu Pantoja, 2024 FI UNAM
- MADISON, Dan. *Process Mapping, Process improvement and process management*. California, Paton Professional, 2005
- PÉREZ, José Antonio, *Gestión por procesos*, 5a. edición México Alfaomega-ESIC, 2013
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma. *México DF: Mc Graw Hill*.
- García Criollo, R. (2005). Estudio del trabajo.
- Giraldo, A. (2008). *Seguridad industrial: Charlas y experiencias para un ambiente seguro*. Ecoe Ediciones.
- Mapfre, F. (1996). *Manual de higiene industrial*. Editorial Mapfre.
- Bú, R. C. (1994). *Simulación: un enfoque práctico*. Editorial Limusa.
- Naylor, T. H., BALINTEY, J. L., & BURDICK, D. S. (1982). Técnicas de simulación en computadoras.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (2001). NOM-011-STPS-2001: Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Ciudad de México: STPS.
- Abrego, M., Molinos, S., & Ruíz, P. (2000). *Equipos de protección personal* (Vol. 32). ACHS.
- Arbós, L. C. (2017). *Ingeniería de procesos y de planta*. Profit Editorial.
- Insua, D. R., Insua, S. R., & Jiménez, J. M. (1997). *Simulación: métodos y aplicaciones*. Rama.
- Díaz, J. M., Mendoza, P. S., & Céspedes, J. D. (2013). *Modelado y simulación de redes: Aplicación de los Qos con Opnet Modeler*. Universidad del Norte.
- Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA). (2018). NOM-006-ASEA-2017: Especificaciones y criterios técnicos de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para el diseño, construcción, pre-arranque, operación, mantenimiento, cierre y desmantelamiento de las instalaciones terrestres de almacenamiento de petrolíferos y petróleo, excepto para gas

licuado de petróleo. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

- NOM-019-STPS-2011: Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (2011). NOM-019-STPS-2011: Requisitos para la constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo. Ciudad de México: STPS.
- NOM-017-STPS-2008: Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (2008). NOM-017-STPS-2008: Equipo de protección personal - Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Ciudad de México: STPS.
- Harrell, C. R., Ghosh, B. K., & Bowden, R. O. (2004). *Simulation Using ProModel*. McGraw-Hill.
- Amaya, M. A., (2002) Manual de administración del mantenimiento, PEMEX
- PROTOCOLO DE SEGURIDAD PEMEX REFINACIÓN
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2007). *Simulation Modeling and Analysis* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Beteta, L. P. (2006). El mapeo del flujo de valor. *Contabilidad y negocios*, 1(2), 41-44.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STPS]. (2018, 23 de noviembre). *NOM-036-1-STPS-2018: Factores de riesgo ergonómico en el trabajo – Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas*. Diario Oficial de la Federación.

ANEXOS

A continuación, podremos observar los planos del equipo



ANEXO 1. Planos diversos del equipo de Lubricación por niebla marca LubriMist modelo SSV

ANEXO 2. Procedimiento de trabajo para el Servicio de Mantenimiento Preventivo de equipos de lubricación por niebla marca LubriMist®

A continuación, presentaré una lista de pasos conforme al Manual de Procedimiento que evalué días previos antes de la auditoría, regido por las normativas establecidas en ISO. Posteriormente, detallaré las acciones llevadas a cabo en el Complejo, con el fin de realizar un análisis exhaustivo, identificando áreas de oportunidad para posibles mejoras

Proceso de acuerdo con el *Procedimiento de trabajo para el Servicio de Mantenimiento Preventivo de equipos de lubricación por niebla marca LubriMist® Modelo SSV*

1. Evaluación de análisis de seguridad: Se llena un formato de seguridad llamado **FOR-SST-AST-00.10-23 - Análisis de seguridad en el trabajo** a menos que el cliente cuente con su propio documento de Análisis de seguridad o permiso de trabajo.
2. Se toman todas las variables operativas del sistema:
 - i. 1. Temperatura del aire
 - ii. Temperatura de aceite
 - iii. Presión de aire regulado
 - iv. Presión de aire de suministro
 - v. presión a niebla
 - vi. Nivel de aceite
 - vii. Presión de suministro de aceite
 - viii. Suministro de niebla
 - ix. Densidad de niebla
3. Inspección de alarmas del sistema
4. Inspección de valores de los parámetros eléctricos
5. Habilitación de la consola de generación auxiliar
6. Inspección y limpieza de filtros de aceite
7. Inspección y mantenimiento de las unidades generadoras de niebla, bomba, depósitos y tanque de aceite (Tanque auxiliar, Tanque de respaldo, Tanque de aceite principal)
8. Inspección visual de los soportes de la red de distribución
9. Inspección y limpieza del sistema de distribución de niebla
10. Verificación y calibración de los requerimientos de lubricación para cada equipo
11. Verificación y calibración de la consola generadora de niebla
12. Instalación de refacciones
 - i. Filtro de aceite (1)
 - ii. Elemento filtrante para filtro de entrada de aire (1)
 - iii. Junta para tapa de tanque BST (2)
 - iv. Junta para tapa de tanque de generación de niebla (2)
 - v. Elemento filtrante de aire de 10" de 10 micras (1)
13. Inspección y toma de muestra del lubricante
 - i. Viscosidad (ASTM D445) (13).
 - ii. Contenido de agua (ASTM D6304) (14).
 - iii. Acidez total (ASTM D974) (15).

- iv. Contenido de metales por espectrofotometría (ASTM D5185) (16).
 - v. Conteo de partículas (ISO 4406) (17).
 - vi. Color (ASTM D1500) (18).
14. Limpieza del skid de lubricación con desengrasante industrial diluido
15. Inspección de las variables operativas del sistema posterior
- i. 1. Temperatura del aire
 - ii. Temperatura de aceite
 - iii. Presión de aire regulado
 - iv. Presión de aire de suministro
 - v. presión a niebla
 - vi. Nivel de aceite
 - vii. Presión de suministro de aceite
 - viii. Suministro de niebla
 - ix. Densidad de niebla

Todos los valores e información se deben colocar en el formato. **FOR-OP-SSV-RT-00.10-23 - Reporte de trabajo SSV**

16. Limpieza del área de trabajo, se deberá documentar en el formato **FOR-OP-LTMC-00.10-23 - Limpieza en Trabajos de Mantenimientos Cliente**
17. Entrega del reporte de servicio en **FOR-OP-SSV-BD-00.10-23 - Bitácora Diaria SSV**
18. Entrega de encuesta de satisfacción/evaluación
19. Respaldo de información

ANEXO 3. LISTA DE ACTIVIDADES Y TIEMPOS

	Actividad	Tiempo (s)
Inspección general, preparación de consola para mantenimiento		
1	Llenado de análisis de seguridad	250
2	Checar sistema de alarma y temperatura	300
3	Tomar lecturas de la consola	250
4	Desplazarte a la consola de respaldo	37
5	Revisar manómetros y esperar a que baje a 22 in/water	324
6	Abrir escape para que baje mas rápido	31
7	Desenergizar consola principal	10
8	Trasladar a consola de auxiliar	8
9	Energizar consola auxiliar	7
10	Desplazarte a la consola principal (enfrente)	24
11	Abrir llave para drenar aceite	10
12	Caminar por cubeta que se encuentr a un lado de la caja de herramientas en el pasillo	21
13	Poner Cubeta debajo de la llave y esperar a que se llene	420
14	Ir por el bote a presión con bomba con líquido desengrasante	32
15	Rociar todo el equipo por fuera con desengrasante	143
16	Limpiar con un trapo la superficie donde se aplicó el desengrasante.	427
17	Caminar por cubeta	24
18	Caminar con Cubeta hacia tanque de almacenamiento externo	32

19	Vaciar aceite de cubeta al tanque de almacenamiento externo	48
20	Caminar de regreso a poner la cubeta a que se llene	22
21	Esperar a que se vacíe por completo la consola principal	320
22	Caminar con cubeta llena a tanque de almacenamiento externo	30
23	Vaciar aceite de cubeta a tanque de almacenamiento externo	48
Mantenimiento de la caja azul dentro de la consola de niebla principal		
24	Caminar por llave para abrir depósito azul dentro de la consola principal	20
25	Desatornillar 12 tornillos	350
26	Abrir tapa y ponerla en el suelo	34
27	Desatornillar placa trasera dentro de el deposito azul de la consola principal	120
28	Trasladar placa trasera de depósito azul al piso	34
29	Limpiar elementos de placa trasera	320
30	Quitar la cubeta llena	30
31	Cerrar llave de paso de aceite	36
32	Desatornillar filtro dentro de generador de niebla principal	60
33	Limpiar generador de niebla principal	42
34	Ir a tirar residuos de aceite de cubeta y basura a otra parte de la planta	540
35	Quitar corcho protector de la tapa del generador de niebla principal	10
36	Limpiar tornillos y tuercas de generador principal	60
37	Caminar hacia donde están las placas en el piso limpias y acercarlas	10
38	Ir a caja de herramientas por corcho nuevo	45
39	Armar todo y atornillar todo nuevamente	580
Mantenimiento del filtro principal		
40	Caminar hacia filtro de izquierda blanco, filtro principal	14
41	Quitar filtro	22
42	Vaciar aceite y residuos sobrantes en cubeta	10
43	Caminar hacia caja de herramientas por filtro nuevo	10
44	Colocar nuevo filtro y enroscar bien	44
Limpieza de generador auxiliar		
45	Trasladar a parte de atrás a donde se encuentra el generador auxiliar	8
46	Limpieza del generador auxiliar que se encuentra en parte posterior	250
47	Volver a limpiar parte trasera con líquido desengrasante	300
Mantenimiento del filtro largo del generador de niebla auxiliar		
48	Drenar filtro largo del generador de niebla auxiliar	43
49	Desatornillar filtro	23
50	Caminar a caja de herramientas por filtro nuevo	14
51	Cambiar filtro y enroscarlo de nuevo	128
52	Cargar cubeta con la que se drene de la consola principal	8
53	Ir a tirar residuos de aceite de cubeta y basura a otra parte de la planta	580
54	Desenroscar ultimo filtro de aceite que se encuentra a mano derecha de la consola principal	12
55	Drenar aceite de ese filtro en cubeta	23
56	Ir a caja de herramientas por filtro nuevo	7
57	Cambiar filtro	22

58	Enrosacar filtro	13
Reinicio de consola principal		
59	Activar quipo manualmente	10
60	Con una botella de agua de 1 l, drenar aceite del filtro de aceite largo que se encuentra en la parte de atrás de la consola principal	43
61	Caminar hacia enfrente y verter el aceite drenado y limpio en la consola principal	49
62	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
63	Esperar a que vuelva a llenar la botella	41
64	Caminar hacia enfrente con la botella llena	8
65	Vaciar aceite en el generador principal	35
66	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
67	Esperar a que vuelva a llenar la botella	40
68	Caminar hacia enfrente con la botella llena	8
69	Vaciar aceite en el generador principal	37
70	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
71	Esperar a que vuelva a llenar la botella	43
72	Caminar hacia enfrente con la botella llena	8
73	Vaciar aceite en el generador principal	38
74	Caminar de regreso a parte trasera y colocar la botella	8
75	Esperar a que vuelva a llenar la botella	42
76	Caminar hacia enfrente con la botella llena	9
77	Vaciar aceite en el generador principal	45
78	Una vez lleno, esperar a que prenda la luz indicadora del estado de la consola (luz verde)	120
79	Cerrar compuertas	45
80	Limpiar area de trabajo	530
81	Guardar todo tipo de herramientas	240
	Actividades que se planean eliminar	