

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN UNA EMPRESA DEL NORTE DEL
VALLE DEL CAUCA**

DIANA CRISTINA GARCIA

BIBLIO ANDRES VILLEGAS



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2020**

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN UNA EMPRESA DEL NORTE DEL
VALLE DEL CAUCA**

DIANA CRISTINA GARCIA

BIBLIO ANDRES VILLEGAS

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero industrial

Director

JulianGonzalez Velazco

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2020

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	8
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
3. JUSTIFICACION.....	12
4. DISEÑO DEL METODO DE INVESTIGACION	13
5. DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	14
6. ANÁLISIS DE PERDIDAS EN LA PLANTA.....	19
7. DISEÑO DE LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	25
8. VALIDACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN	31
8.1 DISEÑO DEL MODELO DE SIMULACION EN ARENA	31
8.2 SIMULACION	35
8.3 RESULTADOS	39
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFIA.....	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metologia	13
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso	16
Figura 4. Experimento en Arena del proceso actual.....	36
Figura 5. Experimento en Arena de la propuesta	36
Figura 6. Diseño del proceso de captación	37
Figura 7. Diseño del proceso de Oxidacion	37
Figura 8. Diseño del proceso de Coagulacion.....	37
Figura 9. Diseño del proceso de Clarificacion	37
Figura 10. Diseño del proceso de Filtracion	38
Figura 11. Diseño del proceso de Desminealizacion.....	38
Figura 12. Diseño del proceso de Osmosis Inversa	38
Figura 13. Diseño del proceso del agua desviada	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Histórico de fallas.....	19
Tabla 2. Caracterización de las fallas	22
Tabla 3. Costos de reparaciones.	23
Tabla 4. Costos totales de maquinaria detenida.	24
Tabla 5. Mantenimiento mecánico preventivo de maquinaria.....	29
Tabla 6. Mantenimiento eléctrico preventivo de maquinaria.....	30
Tabla 7. Mantenimiento instrumentista preventivo de maquinaria.....	30
Tabla 8. Entidades del modelo de simulación	31
Tabla 9. Recursos del modelo de simulación	31
Tabla 10. Atributos del modelo de simulación	32
Tabla 11. Filas del modelo de simulación	32
Tabla 12. Eventos del modelo de simulación	33
Tabla 13. Fallas del proceso actual	33
Tabla 14. Mantenimientos preventivos mecánicos para el proceso	34
Tabla 15. Mantenimientos preventivos eléctricos para el proceso	34
Tabla 16. Mantenimientos preventivos instrumentistas para el proceso	34
Tabla 17. Medidas de Efectividad del modelo de simulación	35
Tabla 18. Horizonte de tiempo estipulado	39
Tabla 19. Comparativa de simulación en los dos escenarios	39
Tabla 20. Comparativa financiera en los dos escenarios	40

RESUMEN

El presente trabajo consta de un diseño de simulación en el software C para una planta de agua potable, utilizando la metodología TPM (Mantenimiento Productivo Total) en el cual se evidenció una reducción de costos para la empresa caso estudio implementando esta filosofía y observando una mejoría en los equipos en cuanto vida útil y la capacitación de los operarios en este tema.

Palabras clave: ARENA SIMULATION
DISMINUCION DE COSTOS
MAXIMIZACION DE RECURSOS
INCREMENTOS DE PRODUCTIVIDAD
MANTENIMIENTO PLANIFICADO Y PREVENTIVO
TPM (MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL)
PROCESOS ESTANDARIZADOS

INTRODUCCIÓN

El sector industrial de hoy ha optado por recurrir a sistemas que comprometen a todo el personal en la participación activa, estableciendo funciones para cada colaborador y así mismo delegando responsabilidades dentro de la organización, de ahora en adelante. Incrementos en la productividad, optimización de los costos al reducir o eliminar las pérdidas y desperdicios al contar con el desarrollo del talento humano, la creatividad, el mejoramiento tecnológico, la innovación, temas de calidad total y seguridad en todos los aspectos, estos son algunos de los beneficios que trae a las organizaciones el uso de herramientas del nuevo siglo, lo cual se ha convertido en una tendencia y excelente alternativa de cambio escogida por las partes directivas.

La empresa caso de estudio se encuentra en el sector productivo alimenticio. Es una empresa sólida con procesos estandarizados y documentados bajo el enfoque empresarial, aun así siempre hay campo para la mejora continua, para seguir en la búsqueda de la excelencia, es necesario aplicar herramientas las cuales atribuyan a mejorar la competitividad y productividad de la misma, salir de los hábitos de la conformidad porque todo parece estar controlado dentro de los marcos establecidos. Por lo tanto, Un mantenimiento planificado y preventivo como herramienta de cambio permite crear una estrategia organizacional, comprometida con la misión y visión de la empresa.

La empresa en mención actualmente posee irregularidades en cuanto al mantenimiento de maquinaria aplicado a la planta de tratamiento del agua potable, lo que genera fallas y limitaciones en los periodos productivos de la planta, generando pérdidas que se ven reflejadas en sobre costos, bajo rendimiento de la planta de agua, falta de calidad del agua tratada e incertidumbre sobre el futuro de la compañía. Con base en lo anterior el presente proyecto tiene como finalidad desarrollar una propuesta de mantenimiento planificado y preventivo que más convenga a los equipos críticos del sistema de tratamiento de agua potable objeto estudio. Identificar las fallas en la planta de agua potable, que hacen que se incrementen los costos, asociados al mantenimiento y reparación de los equipos tratando de encontrando la estrategia que mejor se acomode a la empresa objeto estudio.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la antigüedad el hombre se ha visto en la necesidad de mantener en buenas condiciones el equipo de trabajo, la herramienta, la maquinaria y demás accesorios útiles a la hora de trabajar para que cumplan con el objetivo el momento de utilizarlas, bajo su criterio las personas realizaban reparaciones o correcciones cuando estas lo requerían, en procesos como la caza, el cultivo y la recolección de alimentos se hace evidente la necesidad de disponer de herramientas útiles que trabajen de forma adecuada.

La empresa objeto estudio centra sus esfuerzos en la producción de alimentos procesados para lo cual utiliza el agua como materia prima de los mismos y para múltiples usos como son el aseo diario de los equipos y las áreas productivas, baños, jardinería, la generación de vapor, sistemas de enfriamiento entre otros, convirtiéndose en un recurso vital para el desarrollo normal de la planta y las actividades planteadas por el departamento de planeación.

La planta trabaja de forma ininterrumpida cada 8 días o cada 15 días de acuerdo a las proyecciones de producción, los paros de fábrica son programados entre las áreas de mantenimiento, ingeniería de planta y planeación quien crea órdenes de trabajo bajo sistema de información (SAP) adaptado a los requerimientos de gestión de mantenimiento y activos el cual tiene asignados perfiles de acceso a la información según las necesidades de cada cargo y funciones, la información referente a los equipos se encuentra sistematizada en aspectos relevantes de operación y distribución de planta, de igual forma el sistema de información de gestión de mantenimiento permite visualizar informes de paradas de fábrica, avisos y programación de órdenes de trabajo de mantenimiento.

Al alinear una estrategia de mantenimiento se aumenta el grado de integración de las áreas que planean y las que ejecutan las actividades, manteniendo una comunicación bidireccional se logra alcanzar las metas y apostarle a la competitividad. Es así como se establecen técnicas apropiadas para desarrollar procedimientos que generan sinergia a las operaciones esenciales a la producción como es la reparación de los equipos y activos fijos de la empresa. De esta forma la planeación y la programación marcan la pauta al definir el norte en sus misiones y trabajan de la mano para mejorar cada día la calidad y la disponibilidad de los procesos mediante la detección y prevención de fallas a raíz de la mitigación o eliminación de las causas potenciales que traen efectos negativos.

En el área de tratamiento del agua potable de una empresa productora de alimentos se observaron irregularidades en la forma de aplicar el mantenimiento preventivo, el grupo encargado de esta área toma las acciones correctivas para cuando se presenta el daño en el equipo, esto incurre en fallas en los equipos y

genera gastos innecesarios, reduce la vida útil de la maquinaria, disminuye su eficiencia de trabajo dando como resultado que la disponibilidad de los equipo no sea la esperada.

No contar con indicadores de mantenimiento para esta área es una de las causas principales de la problemática que se tiene ya que no hay como medir el tiempo medio entre fallas a los equipos y ni darle una planeación correcta a los mantenimientos para evitar llegar a los tiempos de maquinaria detenida debido a fallas presentadas imprevistas. La falta de información y capacitación sobre los equipos a los trabajadores también está asociada a esta problemática y la falta de comunicación entre el grupo de trabajo y la parte administrativa que se encarga del mantenimiento ha incrementado las fallas dentro del área generando así problemas con las demoras en el suministro de repuestos para realizar mantenimiento y reparaciones a la maquinaria.

Desde marzo del 2019 hasta marzo del presente año la empresa ha incurrido en paros por fallas en los equipos de la planta de tratamiento de agua, los cuales son de tipo operativo, mecánico, eléctrico e de instrumentación. Que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Causa de paradas de la planta

CAUSAS	NO. PARADAS	% NO DE PARADAS	% ACUMULADO DE N° PARADAS
FALLAS	214	78,97%	79%
OPERACIONAL	33	12,18%	91%
PROGRAMADAS	16	5,90%	97%
PROYECTOS	5	1,85%	99%
EXTERNOS	3	1,11%	100%
TOTAL	271	100,00%	

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los paros programados están sujetos a la coordinación de la fábrica cada semana, los cuales representan un 6%, se procederá a tratar las causas operacionales y fallas que en conjunto superan el 91% de las causas totales de paros de la planta, lo cual genera pérdidas económicas que abarcan costos de repuestos, logísticos, de personal y producción. Observando esto se hace necesario diseñar una alternativa de gestión de mantenimiento enfocada en reducir las fallas operativas y sus costos relacionados y de esta manera aumentar la eficiencia de la planta.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

Con base en lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo en los equipos, que contribuyan a mejorar la eficiencia en la planta de agua potable, y así minimizar los costos totales relacionados?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en los equipos, que contribuyan a mejorar la eficiencia en la planta de agua potable y minimice los costos totales relacionados

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar cómo se efectúan las labores de mantenimiento actualmente en la planta de agua potable
- Diseñar un plan de mejora para la gestión del mantenimiento preventivo que contribuya a aumentar la eficiencia de los equipos del sistema de tratamiento de agua potable.
- Validar la propuesta de mejoramiento mediante un modelo de simulación

3. JUSTIFICACION

La competitividad como estrategia de las grandes organizaciones empresariales conlleva a desarrollar filosofías y aplicar técnicas que permiten un óptimo aprovechamiento de los recursos de las compañías. La correcta optimización del Mantenimiento Preventivo ha trabajado de la mano con este enfoque empresarial al reducir de manera significativa los costos y tiempos de producción, tratando de encontrar la mejora continua.

Actualmente la tecnología hace que día tras día se adelanten modelos de mantenimientos, métodos y estrategias, con el fin de lograr tener una empresa altamente competitiva en el mercado, logrando productos de alta calidad para el consumidor, pero que no sea tan costoso para el productor, como también tratando de minimizar los costos a la hora de producción.

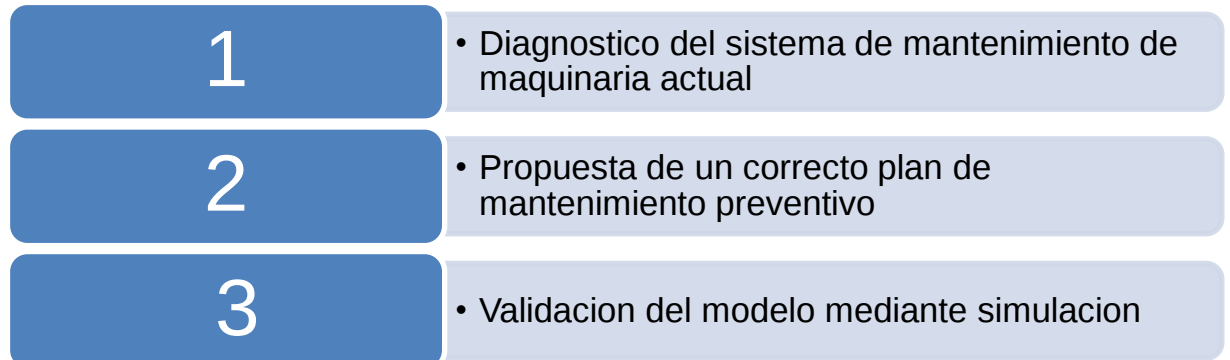
Es por ende que resulta imprescindible desarrollar un Mantenimiento Preventivo Óptimo en la planta de agua, de la empresa caso de estudio, la cual tiene un compromiso no solo con sus consumidores, sino también con todos sus operarios, supervisores y administrativos etc. De mantener en el mercado a una compañía óptima en los procesos, y eficaz en sus productos, contando con parámetros que ayuden a minimizar costos y tiempos a la hora de producir. Esto además permite coordinar, dirigir, y ejecutar las actividades relacionadas al mantenimiento de agua, logrando un correcto funcionamiento y disponibilidad de los equipos, que aseguren la continuidad operativa y los niveles de calidad en los servicios prestados.

Así mismo la empresa en mención, requiere de una metodología que contribuya con un mejor desempeño y optimización en los recursos, para eliminar las averías y daños que se dan por el mal funcionamiento que se les dan a los equipos y herramientas de trabajo, evitando que se despilfarre materiales, tiempo, recurso humano y dinero, que también son producidos por la no realización de mantenimientos a los equipos oportunamente, sino esperando que estos contengan alguna falla para poder realizarlos. Es por estas razones que se adopta implementar la metodología de mantenimiento preventivo en la planta de tratamiento de agua potable en la empresa caso de estudio.

Las mayores pérdidas del empresa se ven reflejadas cuando hay eventos en los que no se puede cumplir con uno o más de los servicios generales de planta (insuficiencias y/o falta de vapor de agua, corte de aire comprimido, corte de energía, deficiencias o suspensión el suministro de agua potable, ya que esto es indispensable para el correcto funcionamiento de la planta. otros sistemas como son las caldera y los centros de procesamiento de agua fría (chillers) para los diferentes procesos de atemperación y regulación de humedad relativa y total de los productos.

4. DISEÑO DEL METODO DE INVESTIGACION

Figura 1. Metologia



Fuente: Elaboracion propia, 2020

Para el alcance de los objetivos propuestos de la planta de agua potable de la empresa en mención, se pretende como primer objetivo realizar un diagnóstico de cómo se efectúan actualmente las labores de mantenimiento en esta área, con el fin de encontrar las fallas o averías que hacen que la planta tenga la deficiencia en las reparaciones de los equipos, y que por ende ocurran en gastos e incrementen los costos de la producción. Es de suma importancia conocer el funcionamiento de esta área para llegar a encontrar los inconvenientes que pueden estar afectando e incrementando el presupuesto, por lo tanto se indagará en las bases de datos de empresa, observando cuantos mantenimientos se hacen semestralmente en esta área y el costo que estos tienen, para establecer bases que se puedan comparar con el beneficio de la propuesta.

Con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo específico el cual propone definir los lineamientos del plan de mantenimiento, para la planta de agua potable, se consultaran en la base de datos de la Universidad, artículos de investigación, trabajos de grado, trabajos referentes a la problemática de estudio y libros que aborden el tema, encontrando así, los lineamientos que la rigen, y que son propios para encontrar la mejoría en la planta. Se realizara un análisis de las metodologías y herramientas existentes y con esto se realizara un examen detallado de los equipos en esta área para determinar cuáles son los que necesitan mantenimiento correctivo programados recurrente.

Finalmente para dar cumplimiento al último objetivo específico que establezcan los beneficios del plan de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable validándolo desde una herramienta que permita simular un escenario posible aplicando lo definido en el plan. Comparando así los posibles beneficios de disminución de tiempo de maquinaria detenida, disminución de los costos relacionados con reparaciones imprevistas y un posible aumento en la disponibilidad de las máquinas requeridas para un óptimo tratamiento del agua requerida para los diferentes procesos de la empresa objeto de estudio.

5. DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

El agua como materia prima o base para la mayoría de los procesos es fundamental, el suministro del líquido a fábrica no debe ser interrumpido por ninguna causa, para ello la directriz es sostener el nivel de un tanque de almacenamiento capacidad de 100M3. Para tal fin se dispone de 3 operarios encargados de monitorear el tratamiento de agua, y resolver pequeñas paradas operativas que estén dentro de sus roles de trabajo las 24 horas del día, ellos están distribuidos en 3 turnos de 8 horas rotativos (06:00 a 14:00h, de 14:00 a 22:00h y de 22:00 a 06:00h). También se dispone de personal técnico mecánico, electricista e instrumentista los cuales no pertenecen al mismo departamento operativa pero dan apoyo en caso de que se requiera resolver cualquier tipo de anomalía que surja. El coordinador y el jefe de esta planta de tratamiento tienen participación en otras áreas de la empresa.

Captación de agua: Para este proceso la planta dispone de 4 fuentes de abastecimiento las cuales tienen unas restricciones establecidas por los entes reguladores donde se controla la cantidad de agua máxima captada y el tiempo de función por día. Cada fuente dispone de al menos una bomba que lleva el agua desde la fuente hasta el tanque de tratamiento. Las fuentes son dos ríos y dos pozos; Río Bugalagrande y Río la Paila que abastecen un lago que tiene la empresa, y Pozo 2 y Pozo 3. Existe cierta agua que se recupera de un proceso interno de la planta y se vuelve a tratar, por lo cual no se toma como fuente ya que está ligada a el proceso y sin este no hubiera forma de obtenerla pero se tiene en cuenta para hacer los cálculos de los consumos. El agua cruda es enviada al tanque de clarificación donde ocurre la mayor y más importante parte del proceso.

Medición del agua captada: La planta dispone de medidores de flujo para cada fuente por lo que el operador debe llevar un registro en sistema de los usos y garantizar que no sobrepase el límite.

Oxidación por cloro: Una vez captada el agua se dispone de un punto de dosificación de hipoclorito de sodio el cual ayuda a eliminar gran cantidad de microorganismos patógenos presentes en las fuentes. Para este proceso se requiere una bomba dosificadora ajustable o graduable según el flujo de agua tratado.

Coagulación por sulfato de aluminio: Se procede a separar las partículas coloidales presentes en el agua por medio químico con acción del alumbre o sulfato de aluminio que actúa como agente desestabilizador de la suspensión coloidal. Se dispone de bombas dosificadoras y mezcladores estáticos.

Floculación: Una vez los coloidales están desestabilizados en sus cargas eléctricas se aplica agitación muy lenta, mediante la cual se agrupan los coloides separados en microfloculos, estos por su parte se aglomeran unos a otros ganando mayor tamaño y peso para crear floculos que se decantan más rápido y permiten que el agua se clarifique.

Filtración: Cuando el agua se encuentra clarificada en la superficie y los floculos decantados en el fondo del tanque se procede a recolectar el agua a través de unos orificios que llenan una canoa dirige el agua hasta un tanque llamado bolsillo y de menor tamaño que el tanque clarificador, el cual tiene la función de ser el encargado de alimentar las bombas de filtración con el agua clarificada para remover mecánicamente por medio de mallas, lechos de arena y carbón activado los floculos que no se decantaron en el paso anterior.

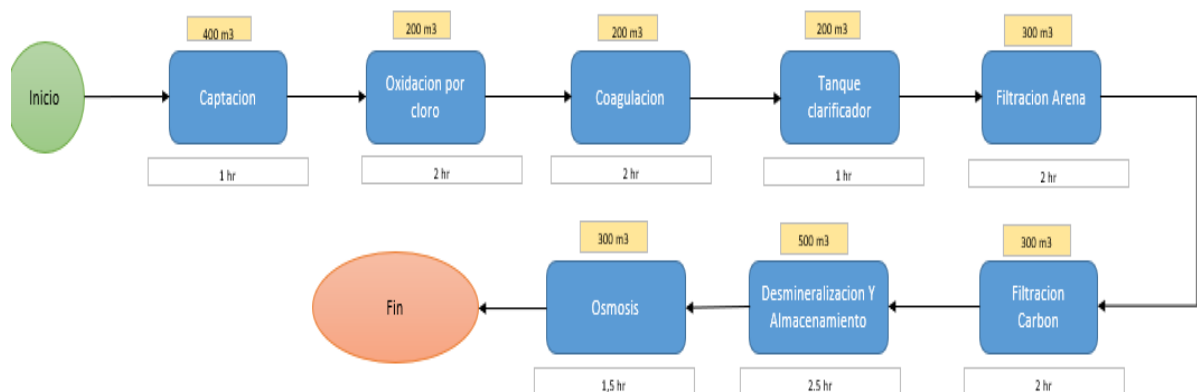
Desinfección y almacenamiento: El agua que sale del proceso de filtración es de buena calidad puesto que se remueven en gran porcentaje los sólidos suspendidos presentes y para conservarla se pasa por un sistema de lámparas de luz ultravioleta y se le aplica nuevamente cloro hasta los valores permitidos por la norma con el objetivo de garantizar una desinfección y que microorganismos patógenos no se proliferen en ella. El agua es guardada en el tanque de almacenamiento de la planta y queda lista para ser contabilizada con un medidor de flujo y usada en los diferentes procesos de la fábrica.

Desmineralización del agua para calderas y procesos: En este proceso se toma el agua del tanque del almacenamiento y se realiza la desmineralización por medios filtrantes llamados suavizadores con resinas catiónicas que remueven sólidos disueltos presentes en el agua como el calcio y el magnesio los cuales son formadores de incrustación dentro de la caldera y chillers. También se utiliza las membranas de osmosis inversa para terminar de retirar compuestos que no se removieron en los suavizadores.

Controles de calidad: El analista de calidad evaluara las condiciones del agua y hará reportes de cada parámetro, según los criterios de potabilización usados en la planta, también debe informar al personal operativo del tratamiento sobre anomalías a corregir.

Controles de seguridad y salud en el trabajo: Los vigías de SST realizan inspecciones rutinarias a las aéreas, equipos y metodologías usadas a modo de prevención de incidentes laborales.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso



Fuente: Elaboración propia, 2020.

De acuerdo a lo previamente mencionado la causa de paradas de planta y a la experiencia de los técnicos del área de tratamiento de agua potable en conjunto con los técnicos de mantenimiento y bajo la coordinación del jefe área saben que aproximadamente el 91% de las paradas se encuentran entre las fallas de equipos y las fallas operativas con 247 de 271 totales, logran estar por encima de las otras causas de paradas, de igual forma las causas de paradas más cercanas son las programadas por el grupo de planeación donde cada fin de semana la fábrica finaliza labores de forma general y se aprovecha para realizar los mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos a los equipos que lo requieran. Como los paros generales de fabrica o paradas programadas son una directriz acogida por las directivas de la empresa no se van a incluir en el análisis, el enfoque estará dirigido a las fallas operativas y fallas de equipos.

Mantenimiento correctivo.

Al identificar una falla el operario le solicita al coordinador y jefe inmediato responsable del área, mediante un aviso de mantenimiento la solución del problema. La falla reportada en sistema es notificada al planeador del área, quien en conjunto con el coordinador y el operario generan la orden de trabajo de acuerdo al tipo de urgencia y es enviada al departamento de mantenimiento correspondiente según sea el caso. Una vez asignado el personal encargado de ejecutar la labor se le da el número de la orden de trabajo y debe anotar la fecha, hora de inicio y una breve descripción del trabajo a realizar y la ficha del ejecutor.

El ejecutor se desplaza hacia el lugar y analiza detalladamente la actividad a realizar, si se trata de una emergencia se verifica si en el almacén hay los repuestos necesarios para la reparación y/o sustitutos que pueden ser obsoletos y estar almacenados en el hangar de segunda o en el área de reciclaje alguno que se asemejen al original para realizar la reparación. En caso de ser una orden de trabajo menor se piden los materiales necesarios al proveedor en caso de no haber existencia en el inventario y se ejecuta la reparación cuando se disponga de los materiales solicitados o se va ejecutando a medida que vayan llegando por tratarse de un proyecto.

Una vez realizada la reparación se informa al personal encargado, coordinador y operador del área para que este dé el visto bueno y se diligencie el cierre de la orden de trabajo para finalmente ser entregada al planeador quien es responsable de ingresar al sistema información sobre las actividades realizadas, datos técnicos y causas de daño de equipo, generar los indicadores de mantenimiento y mantener una comunicación participativa con los equipos de trabajo.

La planta cuenta con un laboratorio de análisis para garantizar la calidad del agua tratada y un operario por turno que ejecuta análisis rutinarios de control sobre los parámetros establecidos.

Mantenimiento preventivo.

La planeación de mantenimiento de la planta de tratamiento cuenta con un analista responsable de generar y actualizar la información para la ejecución de las actividades programadas o imprevistas en caso de una emergencia, también se encarga de mantener los inventarios de los insumos necesarios para realizar el tratamiento (sulfato, hipoclorito, sal marina, soda caustica entre otros) y los pedidos de los repuestos de equipos y accesorios de rotación rápida.

Empieza con la programación de las labores rutinarias a los equipos desde el área de planeación, quienes bajo la instrucción de los fabricantes de los equipos crean las ordenes preventivas que se deben realizar. Una vez impresas las ordenes preventivas de trabajo, el planeador lleva a las aéreas correspondientes y las entrega a los ejecutores para que sean realizadas. El ejecutor realizar pre alistamiento de los repuestos que usara para esta labor, lo que significa que debe

desplazarse (si la reparación lo indica) hasta el almacén de repuestos para retirar los materiales de trabajo o anotarlos en el libro de pedidos en caso de que no haya existencia. Cuando se haya retirado el material se procederá a realizar la reparación y posteriormente a notificar el tiempo de trabajo en el sistema.

6. ANÁLISIS DE PERDIDAS EN LA PLANTA.

Las mayores pérdidas de la planta suceden cuando esta no suministra agua hacia las partes productivas debido a la imposibilidad que genera no poder continuar con los procesos de fabricación ya que el agua se usa como base de materia prima.

A continuación, se presentan las fallas representadas en el semestre Julio 2019 – Diciembre 2019.

Tabla 1. Histórico de fallas

	Taponamiento filtro bomba	
BOMBAS CENTRIFUGA NUMERO 1	Daño en valvulasuccion bomba	
	Daño en valvula descarga bomba	
	Daño mecanico impulsor y/o eje bomba	
	Daño sello mecanico bomba	
	Atascamiento impulsor bomba	
	Cavitacion bomba	
	Alarma variador Bomba	
	Salta termico bomba	
	Daño en rto bomba	
	Daño en rto motor bomba	
	Ruptura en acople motor bomba	
	Fuga en sistema hidraulico bomba	
	Falla manometro de presion bomba	
	Daño en medidor de flujo bomba	
	Daño en valvulasuccion bomba	
	Daño en valvula descarga bomba	
	Daño mecanico impulsor y/o eje bomba	
BOMBAS CENTRIFUGA NUMERO 2	Daño sello mecanico bomba	
	Cavitacion bomba	
	Alarma variador Bomba	
	Salta termico bomba	
	Daño en Acometida electrica bomba	
	Falla manometro de presion bomba	
	Daño en medidor de flujo bomba	
	Taponamiento filtro succion bomba	
	Daño en valvula descarga bomba	
	Cavitacion bomba	
	Alarma variador Bomba	
	Ruptura en acople motor bomba	

	Daño en Acometida electrica bomba
	Falla manometro de presion bomba
	Daño en medidor de flujo bomba
	Daño en valvula descarga bomba
	Cabitation bomba
	Alarma variador Bomba
	Salta termico bomba
	Falla manometro de presion bomba
	Daño en medidor de flujo bomba
	Daño mecanico impulsor y/o eje bomba
	Atascamiento impulsor bomba
	Cabitation bomba
	Falla variador Bomba
	Falla termico guarda motor Bomba
BOMBAS CENTRIFUGA NUMERO 3	Ruptura en acople motor bomba
	Falla manometro de presion bomba
	Daño en valvula descarga bomba
	Daño mecanico impulsor y/o eje bomba
	Daño sello mecanico bomba
	Daño en rto bomba
	Daño en rto motor bomba
	Daño en ventilador motor Bomba
	Falla manometro de presion bomba
	Daño en medidor de flujo bomba
	Cabitation bomba
	Alarma variador Bomba
	Salta termico bomba
	Daño en rto bomba
	Daño en rto motor bomba
	Daño bobinado motor bomba
	Daño en Acometida electrica bomba
	Fuga en sistema hidraulico bomba
	Falla manometro de presion bomba
	Daño en valvulasuccion bomba
	Daño en valvula descarga bomba
BOMBAS CENTRIFUGA NUMERO 4	Daño mecanico impulsor y/o eje bomba
	Daño sello mecanico bomba
	Atascamiento impulsor bomba

	Cavitacion bomba
	Alarma variador Bomba
	Salta termico bomba
	Daño en rto bomba
	Daño en rto motor bomba
	Fuga en sistema hidraulico bomba
	Falla manometro de presion bomba
	Daño en valvulasuccion bomba
	Daño en valvula descarga bomba
	Daño mecanico impulsor y/o eje bomba
	Daño sello mecanico bomba
	Daño en rto motor bomba
	Fuga en sistema hidraulico bomba
	Falla manometro de presion bomba
	Daño en valvulasuccion bomba
	Daño en valvula descarga bomba
	Daño mecanico impulsor y/o eje bomba
	Daño sello mecanico bomba
	Atascamiento impulsor bomba
	Alarma variador Bomba
BOMBAS DOSIFICADORA NUMERO 1	Daño mecanico bomba LMI
	obstruccion cheques y/o piezas bomba LMI
	Daño valvula pie o succion bomba LMI
	Daño en valvula 3 vias descarga bomba LMI
	Daño electrico bomba LMI
BOMBAS DOSIFICADORA NUMERO 2	Daño mecanico bomba LMI
	obstruccion cheques y/o piezas bomba LMI
	Daño valvula pie o succion bomba LMI
	Daño en valvula 3 vias descarga bomba LMI
BOMBAS DOSIFICADORA NUMERO 3	Daño mecanico bomba LMI
	obstruccion cheques y/o piezas bomba LMI
	Daño en valvula 3 vias descarga bomba LMI
BOMBAS DOSIFICADORA NUMERO 4	Daño mecanico bomba LMI
	obstruccion cheques y/o piezas bomba LMI
	Daño en valvula 3 vias descarga bomba LMI
	obstruccion cheques y/o piezas bomba LMI
	Daño valvula pie o succion bomba LMI
TANQUE CLARIFICADOR	Daño en valvula de purga tanque clarificador

	Daño en medidor de flujo clarificador
FILTROS DE ARENA	Taponamiento filtros de arena
	Ruptura en colectores filtros de arena
FILTROS DE CARBON ACTIVADO Y OZONIZADOR DE AGUA POTABLE	Taponamiento filtro de carbon activado
	Daño en lampara luz ultravioleta
	Daño en sistema venturi
	Daño en flota control de nivel tanque agua potable
SUAVIZADORES DE AGUA	Ruptura en colectores suavizadores
OSMOSIS INVERSA	Taponamiento en sistema osmosis inversa
	Daño en medidores de flujo osmosis inversa
	Daño en medidor de orp osmosis inversa
	Daño en medidor de tds osmosis inversa
	Apaga osmosis inversa por alta presion
	Apaga osmosis inversa por baja presion
	Ruptura en sistema hidraulico osmosis inversa

Fuente: Elaboración propia, 2020

Estas fallas se agrupan teniendo presente que en el histórico algunas ocurrieron de forma simuletea y otras fueron consecuencia de otras. Teniendo esta premisa se promedian para definir un tiempo promedio de reparación, un tiempo promedio entre fallas y una cantidad definida de fallas por semestre.

Tabla 2. Caracterización de las fallas

CARACTERIZACION DE FALLAS					
RECURSOS	MAQUINAS	Tiempo Reparacion [hr]	Tiempo entre fallas [hr]	Fallas por semestre	Tiempo Reparacion semestre
CAPTACION	BOMBA CENTRIFUGA 1	10,0	250	17	172,8
	BOMBA CENTRIFUGA 2	15,0	822	5	78,8
	BOMBA CENTRIFUGA 3	25,0	1200	4	90,0
	BOMBA CENTRIFUGA 4	9,0	960	5	40,5
OXIDACION	BOMBA GRADUABLE DOSIFICADORA 1	7,0	480	9	63,0
	BOMBA GRADUABLE DOSIFICADORA 2	7,0	1152	4	26,3
COAGULACION	BOMBA GRADUABLE	7,0	720	6	42,0

CARACTERIZACION DE FALLAS					
	DOSIFICADORA 3				
	BOMBA GRADUABLE DOSIFICADORA 4	7,0	576	8	52,5
	TANQUE CLARIFICADOR	8,0	1200	4	28,8
FILTRACION	FILTRO DE ARENA	8,0	320	14	108,0
	FILTRO DE CARBON ACTIVADO Y OZONIZADOR	8,0	250	17	138,2
DESMINEALIZACION Y ALMACENAMIENTO	SUAVIZADOR DE AGUA	80,0	1500	3	230,4
	OSMOSIS INVERSA	10,0	36	120	1200,0
TOTAL				214	2271

Fuente: Elaboración propia, 2020

Posteriormente, se definen los costos relacionados con el costo total de los repuestos requeridos mas la mano de obra para cumplir con la reparación. Cifras en millones de pesos

Tabla 3. Costos de reparaciones.

RECURSOS	Costos de reparación de maquinaria
CAPTACION	45.008.551
	17.990.122
	12.017.565
	10.056.017
OXIDACION	6.485.350
	5.464.100
COAGULACION	5.403.094
	7.114.925
	5.266.113
FILTRACION	79.000.167
	5.668.078
DESMINEALIZACION Y ALMACENAMIENTO	6.430.000
	6.686.250
TOTAL	212.590.332

Fuente: Elaboración propia, 2020

Teniendo presente la cuantía de reparación y de mantenimiento correctivo realizada. Se definen los costos totales en el horizonte de tiempo del estudio para los cuales se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 4. Costos totales de maquinaria detenida.

ITEM	VALOR
COSTO HORA EXTRA	\$ 11.429
Nº HORAS EXTRA MES	24
COSTO HORAS EXTRAS MES	\$ 274.286
COSTO HORAS EXTRAS SEMESTRE	\$ 1.645.714
TIEMPO TOTAL OPERACIÓN HORAS	2880
COSTO HORA MAQUINARIA DETENIDA	\$ 197.707
COSTO TOTAL MAQUINARIA DETENIDA SEMESTRE	\$ 206.208.000
COSTO REPARACIONES SEMESTRE	\$ 212.590.332
SOBRECOSTOS TOTALES SEMESTRE	\$ 418.798.332

Fuente: Elaboración propia, 2020

Queda evidenciado así con el recuento total de horas de maquinaria detenida y los sobrecostos totales de reparación que las actuales metodologías de control de vida útil y mantenimiento preventivo que se realizan en la planta de tratamiento de agua no están cumpliendo con las verdaderas necesidades del sistema.

7. DISEÑO DE LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Con la ayuda del análisis de los resultados del apartado anterior se ha elaborado un plan de mejora que incide en aquellas cuestiones críticas para garantizar la eficiencia de los procesos estudiados. Dicho plan consiste en una sencilla aplicación del círculo de Deming o circuito PDCA, una técnica de calidad de las introducidas en el apartado del Lean Manufacturing. Dicho circuito incluye una descripción del problema actual y la consiguiente mejora propuesta para solucionarlo, además de exponer unos objetivos medibles (de esta forma se puede monitorizar el proceso para ver de qué forma la implantación de las mejoras está obteniendo los resultados esperados) así como las medidas que se van a llevar a cabo para conseguirlos.

Para el cumplimiento del objetivo de cero defectos podría incluir las siguientes actividades (entre otras):

- Entrenamiento básico del personal (operarios). El capital humano es el más importante de entre los activos de la empresa y al que se le puede sacar más rendimiento. La correcta formación del mismo evitará errores y defectos gracias al entrenamiento en temas relacionados con la calidad y la importancia del seguimiento de estándares.
- Mantenimiento preventivo (máquinas). Es necesario garantizar que los equipos de la fábrica se encuentran en perfectas condiciones operativas, para ello los operarios deben aprender ciertas pautas rutinarias de actuación para el mantenimiento del equipo propio, basándose en las técnicas TPM. Además, la mejor prevención de defectos es la que detecta y corrige los errores antes de que se produzcan los defectos (reduce los costes de reparaciones, aporta capacidad de anticipación y resulta más efectivo en el proceso de toma de decisiones)

La filosofía del Mantenimiento Productivo Total (TPM), es una metodología de mejora que permite a las empresas conservar equipos e instalaciones, aplicando conceptos como prevención, cero defectos, cero accidentes, y participación total de las personas. El TPM, nace en Japón y tiene sus principales antecedentes en los conceptos de mantenimiento preventivo en los años ochenta, conociéndose como una estrategia de mantenimiento con el objetivo de obtener la máxima efectividad en los equipos productivos, tratando así que el operario obtenga cero averías, y se minimicen los costos de mantenimientos (Restrepo, 2002) muestra algunas diferencias en cuanto al proceso de implantación del TPM y los resultados obtenidos, pues compara las empresas orientales contra las empresas occidentales, encontrando que no solo en continentes se ve esto reflejado, sino también en empresas de la misma región.

Minaya (2012), menciona de cómo nace este proceso tan importante (TPM), creado por el Ingeniero Seiichi Nakajima, y el cual fue desarrollado por primera vez

en 1969 por la empresa Japonesa Nippondenso del grupo Toyota, El Instituto Japonés para el Mantenimiento de Planta (Japan Institute of Plant Maintenance) tiene los derechos reservados para las iniciales de TPM, implementándolo en las empresas, logrando una mejoría en toda la compañía.

La idea de maximizar la efectividad y vida útil de los equipos, ha llevado a que las empresas, se interesen de una mayor forma por el TPM desde que el JIPM3 promovió su implementación en el año 1971 (Tajiri-Gotoh, 1999). Esta filosofía ha desarrollado procesos, actividades y herramientas, que indistintamente, han desarrollado las compañías más avanzadas, como son: Control Estadístico del proceso (SPC), relaciones cliente-proveedor, actividades de mejora de la productividad etc., y como objetivo es encontrar un mejor rendimiento operacional de los sistemas de producción, encontrar la excelencia en los mantenimientos en los mismos y en la gestión de producción. (Rey, 2003). El TPM tiene como objetivo, siempre encaminarse hacia la mejora de la eficiencia de los equipos y las operaciones mediante la reducción de fallas, no conformidades, tiempos de cambio, y se relaciona, con actividades de orden y limpieza. Actividades en las que se involucra al personal de producción, con el propósito de aumentar las probabilidades de mantenimiento del entorno limpio y ordenado, como requisitos previos de la eficiencia del sistema.

Estructura

Entrenamiento básico del personal (operarios).

La propuesta planteada se define debido a que se requiere de una formación en las herramientas para empezar el proyecto en el interior del equipo de mejoras enfocadas. Este debe recibir entrenamiento de manera general de instrumentos básicos de análisis, esta acción tiene como meta desarrollar destrezas en el personal para la identificación y corrección de fallas y retornar la máquina a condiciones básicas de operación.

Esta es importante, ya que para hallarse en la capacidad de producir un dictamen de las dificultades o inconvenientes que pueden manifestarse en la maquinaria o para suministrar una solución a cualquier falla menor, es imperioso que los operarios cuenten con un conocimiento y una comprensión básica acerca de mantenimiento instrumentista, eléctrico y mecánico; por lo cual se estima pertinente capacitarlos en relación a estos aspectos. Para dichos entrenamientos corresponde conformar 3 equipos de trabajo, los cuales deben acogerse a esta preparación en los tiempos propuestos para tal ejercicio, esto bajo coordinación entre las áreas de la planta de tratamiento. A continuación, se puntualiza en las temáticas y los contenidos de los diferentes programas: Capacitación de electricidad básica: El contenido de este programa comprende los siguientes elementos: riesgos eléctricos; seguridad eléctrica de maquinaria; utilización de herramientas eléctricas; tipos de sensores, su funcionamiento y limpieza; y, por último, identificación de alarma en la maquinaria.

Los objetivos de este apartado son: concientizar a los trabajadores sobre las complicaciones y peligros que genera el manipular los tableros eléctricos sin la precaución requerida; dominar los diferentes tipos de sensores eléctricos, sus aplicaciones, su funcionamiento y su respectiva limpieza; además de optimizar la destreza con respecto a la detección de fallas eléctricas que anuncian los diferentes tipos de alarmas.

Capacitación en mecánica básica: Los temas que se abordaran en esta capacitación serían los siguientes: metrología básica; lectura en calibrador (pie de rey); tipos de roscas y clasificación de pernos, arandelas y tornillos (tanto en milímetros y pulgadas); uso apropiado de herramientas manuales; así como el mantenimiento y riesgos concernientes al proceso; y fundamentos de lubricación de maquinaria.

Los objetivos de este programa son los siguientes: mejorar el uso de herramientas manuales para las distintas labores de cambios o reparaciones básicas en la maquinaria; reconocer los distintos tipos de tornillería para estandarización en las distintas partes de las máquinas; desarrollar las destrezas de los operarios en lo referente a metrología por medio del uso de calibrador o pie de rey; así como también, la identificación de lubricantes y frecuencias de lubricación en máquinas.

Capacitación en instrumentación básica: Los temas que se abordarían serían: conocer los fundamentos de la medición de las variables físicas para el control de procesos, para así familiarizarse con su estructura y elementos constitutivos. Además de profundizar en los distintos modos de regulación y en conocer el mantenimiento de la instrumentación: averías y su solución, mantenimiento preventivo y calibración de los instrumentos.

Los objetivos de este programa son: Conocer la terminología que se emplea en el campo de la Instrumentación y el Control, utilizando el lenguaje técnico estandarizado, realizar instalaciones seguras y confiables, entendiendo el principio de funcionamiento de las tecnologías utilizadas en los instrumentos, para medir las principales variables de proceso (flujo, nivel, presión y temperatura) para que así se permita realizar un diagnóstico básico del estado de instrumentos y equipos, buscando mejorar su desempeño en la operación y mantenimiento, haciéndola a su vez más segura y confiable.

Estas lecciones precisas, tienen como propósito de instruir a cualquier operario para generar trabajos de mantenimiento básico de piezas o elementos, mecanismos que se encuentran por todo el proceso de tratamiento de agua que pueden no resultar lógicos con una explicación sencilla. Las explicaciones precisas radican en documentaciones explicativas a través de gráficos, y que se hallan en el puesto junto al resto de la documentación.

En cuanto a la línea de agua a través de los procesos, se piensa la elaboración de lecciones puntuales a algunas de las actividades realizadas con mayor frecuencia como lo son la selección y limpieza. De tal manera que este tipo de mejora, se demuestra realizando un flujo de procesos a partir de una representación gráfica precisando y estipulando los pasos con su respectiva descripción y la secuencia para cada una de las posibles averías.

Estos programas están fragmentados en actividades que es posible se desplieguen individualmente o con la intervención de las diferentes áreas implicadas a lo largo de la producción, tal como es expuesto por Torres (2010), esto se da “con el objeto de maximizar la efectividad global de equipos, procesos y plantas; todo esto a través de un trabajo organizado individualmente o en equipos internacionales, empleando metodología específica y concentrando su atención en la eliminación de los despilfarros que se presentan en las plantas industriales.”

Mantenimiento preventivo (maquinaria)

El plan de mantenimiento preventivo se realiza teniendo presente la periodicidad de las fallas de los equipos, la importancia que cada una tiene en el proceso y el costo de los mantenimientos comparado con el histórico de fallas de cada una de las máquinas. El área de tratamiento de agua potable cuenta con un coordinador de turno en horario de oficina encargado de atender las necesidades de mantenimiento y asegurar el cumplimiento de las actividades programadas a nivel táctico, este enlace sirvió como método de validación para definir de forma más acertada la programación de los mantenimientos. Para realizar las reparaciones se cuenta con un taller mecánico encargado de la maquinaria, un taller eléctrico encargado de las redes eléctricas, tableros de potencia y demás equipos que se consideren como motores e iluminación, existe un taller de instrumentación y metrología para la calibración y ajustes para aquellos equipos críticos de control del proceso. A continuación se presenta el mantenimiento preventivo predilecto teniendo en cuenta los factores previamente mencionados a la planta se dividirá en tres tipos de mantenimiento, de instrumentación, mecánicos y eléctricos.

- Mantenimiento mecánico: encargado de atender las emergencias de tipo mecánico que se presentan en el diario transcurrir, ejecutar preventivos y proyectos de mejora.

Tabla 5. Mantenimiento mecánico preventivo de maquinaria

MANTENIMIENTO MECANICO					
RECURSOS	MAQUINAS	Tiempo MTTO [hr]	Tiempo entre MTTO [hr]	MTTO por semestre	Tiempo Reparacion semestre
CAPTACION	Bomba Centrifuga 1	1,0	490	9	8,8
	Bomba Centrifuga 2	1,0	490	9	8,8
	Bomba Centrifuga 3	1,1	490	9	9,7
	Bomba Centrifuga 4	1,5	490	9	13,2
OXIDACION	Bomba Graduable Dosificadora 1	1,1	250	17	19,0
	Bomba Graduable Dosificadora 2	1,4	250	17	24,2
COAGULACION	Bomba Graduable Dosificadora 3	1,5	490	9	13,2
	Bomba Graduable Dosificadora 4	1,1	490	9	9,7
	Tanque Clarificador	1,2	730	6	7,1
FILTRACION	Filtro De Arena	1,4	250	17	24,2
	Filtro De Carbon Activado Y Ozonizador	1,3	250	17	22,5
DESMINEALIZACION Y ALMACENAMIENTO	Suavizador De Agua	1,2	490	9	10,6
	Osmosis Inversa	1,5	490	9	13,2
					184,2

Fuente: Elaboración propia, 2020

- Mantenimiento eléctrico: encargado de atender las emergencias de tipo eléctrico, electrónico, ejecutar preventivos, predictivos y correctivos.

Tabla 6. Mantenimiento electrico preventivo de maquinaria

MANTENIMIENTO ELECTRICO					
RECURSOS	MAQUINAS	Tiempo MTTO [hr]	Tiempo entre MTTO [hr]	MTTO por semestre	Tiempo Reparacion semestre
CAPTACION	Bomba Centrifuga 1	1,2	540	8	9,6
	Bomba Centrifuga 2	1,4	540	8	11,2
	Bomba Centrifuga 3	1,1	540	8	8,8
	Bomba Centrifuga 4	1,2	540	8	9,6
OXIDACION	Bomba Graduable Dosificadora 1	1,3	300	14	18,7
	Bomba Graduable Dosificadora 2	1,5	300	14	21,6
TOTAL					79,5

Fuente: Elaboración propia, 2020

- Mantenimiento instrumentista: se clasifica como aquel que es propio de instrumentos de control sobre el proceso, es el encargado de mantener estandarizados los procesos y responder oportunamente en caso de averías de equipos.

Tabla 7. Mantenimiento instrumentista preventivo de maquinaria

MANTENIMIENTO INSTRUMENTISTA					
RECURSOS	MAQUINAS	Tiempo MTTO [hr]	Tiempo entre MTTO [hr]	MTTO por semestre	Tiempo Reparacion semestre
CAPTACION	Bomba Centrifuga 1	0,9	480	9	8,1
	Bomba Centrifuga 2	0,9	480	9	8
	Bomba Centrifuga 3	1,2	480	9	11
	Bomba Centrifuga 4	1,1	480	9	10
COAGULACION	Tanque Clarificador	0,9	720	6	5
FILTRACION	Filtro De Arena	1,1	240	18	20
	Filtro De Carbon Activado Y Ozonizador	1,0	240	18	18
ENTREGA A PLANTA	Osmosis Inversa	1,0	480	9	9
TOTAL					89

Fuente: Elaboración propia, 2020

8. VALIDACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN

8.1 DISEÑO DEL MODELO DE SIMULACION EN ARENA

Teniendo presente el proceso productivo y el diagnostico basado en la información recolectada para el diseño del modelo de simulación se tuvieron en cuenta las siguientes características, para así definir un estado actual base para ser comparado con la propuesta de mejora, en pro bosquejar de la forma mas precisa y real la realidad y el comportamiento de los subprocesos relacionados con el tratamiento de agua en la planta:

Entidad

Las entidades son los objetos, los artículos, las personas, los vehículos, etc. Son los que se mueven a través del sistema y son los que nos interesa conocer su comportamiento e identificar que causa cambios en las variables de interés. Para el proceso de tratamiento de agua, se tiene presente la identidad agua, esta definida en metro cúbicos.

Tabla 8. Entidades del modelo de simulación

ENTIDADES
M3_AGUA

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Recurso:

Posteriormente, se definen los recursos, son las estaciones en las que debe pasar la entidad, en este caso el agua. Estas estaciones tienen diferentes estados dependiendo del comportamiento del sistema, ya sea ocupado, ocioso, lleno, inactivo, dañado, detenido. Se definen como recursos en este caso las estaciones que debe pasar el agua para tener un proceso de tratamiento, desde su captación hasta la entrega de fábrica teniendo un flujo con sus respectivas capacidades y restricciones. En el modelo de proceso productivo de tratamiento de agua se tienen. En este caso se tienen 8 recursos:

Tabla 9. Recursos del modelo de simulación

RECURSOS
CAPTACION
OXIDACION
COAGULACION
TANQUE_CLARIFICADOR
FILTRACION_A
FILTRACION_C
DESMINEALIZACION
OSMOSIS

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Atributos

Los atributos, que permiten crear diferencias entre las entidades ellas. Ejemplos de estas diferencias son el tiempo de llegada, la prioridad, la fecha de vencimiento... Los atributos que Arena asigna automáticamente a una entidad son: EntityType (nombre del tipo de entidad), Entity Picture (dibujo que se mostrará durante la simulación) y EntityCreate Time (tiempo en la simulación en que se crea la entidad). En el caso de estudio tenemos un atributo único, que sería el tiempo de llegada del agua desde sus 4 entradas para el sistema de tratamiento de agua.

Tabla 10. Atributos del modelo de simulación

ATRIBUTOS
HORA_LLEGADA

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Filas

Las filas se definen en el sistema cuando existen procesos donde su tiempo de procesamiento es mayor a su capacidad de atención o de ocurrencia. Por lo que se generan filas, que en este caso en particular sería el flujo de agua detenido por tener maquinaria detenida o con capacidad completa en uso. Para el caso de estudio se tienen 8 filas, correspondiente cada una a los recursos que se definen como los sup procesos del tratamiento de agua.

Tabla 11. Filas del modelo de simulación

FILAS
F_CAPTACION
F_OXIDACION
F_COAGULACION
F_TANQUE_CLARIFICADOR
F_FILTRACION_A
F_FILTRACION_C
F_DESMINEALIZACION
F_OSMOSIS

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Evento

Los eventos del proceso de tratamiento de agua se definen como cada uno de los pasos o tratamientos por los que debe pasar el agua captada para poder ser utilizada y que cumpla con los mínimos requisitos de calidad, pureza y nivel de minerales contenidos por metro cubico de agua. A continuación, se presentan los eventos relacionados con el proceso:

Tabla 12. Eventos del modelo de simulación

EVENTOS
INICIO
CAPTACION DE AGUA
OXIDACION POR CLORO
COAGULACION
TANQUE DE CLARIFICACION
FILTRACION DE ARENA.
FILTRACION DE CARBON
DESMINERALIZACION Y ALMACENAMIENTO
OSMOSIS.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Definición de fallas y mantenimientos

Para poder simular un proceso productivo que sufre de tiempos muertos por distintos factores, ya sean originados por la naturaleza del proceso, el mal uso o la mala practica se deben de definir correctamente la periodicidad y el tiempo requerido que se tienen en estas paradas de maquinaria. A continuación, en lenguaje Arena se definen las fallas históricas resultantes del diagnostico y posteriormente se definen los mantenimientos requeridos preventivos para cumplir con una optima utilización de las maquinas relacionadas con el proceso de tratamiento de agua.

Tabla 13. Fallas del proceso actual

MAQUINAS	FALLA
Bomba Centrífuga 1	FALLA_CB1_1
Bomba Centrífuga 2	FALLA_CB2_1
Bomba Centrífuga 3	FALLA_CB3_1
Bomba Centrífuga 4	FALLA_CB4_1
Bomba Graduable Dosificadora 1	FALLA_OB1_1
Bomba Graduable Dosificadora 2	FALLA_OB2_1
Bomba Graduable Dosificadora 3	FALLA_COB1_1
Bomba Graduable Dosificadora 4	FALLA_COB2_1
Tanque Clarificador	FALLA_TC_1
Filtro De Arena	FALLA_FFA_1
Filtro De Carbon Activado Y Ozonizador	FALLA_FFC_1
Suavizador De Agua	FALLA_DES_1
Osmosis Inversa	FALLA_OSM_2

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 14. Mantenimientos preventivos mecanicos para el proceso

MANTENIMIENTO MECANICO	
MAQUINAS	MTTO
Bomba Centrifuga 1	MTTO_CB1_3
Bomba Centrifuga 2	MTTO_CB2_3
Bomba Centrifuga 3	MTTO_CB3_3
Bomba Centrifuga 4	MTTO_CB4_3
Bomba Graduable Dosificadora 1	MTTO_OB1_3
Bomba Graduable Dosificadora 2	MTTO_OB2_3
Bomba Graduable Dosificadora 3	MTTO_COB1_3
Bomba Graduable Dosificadora 4	MTTO_COB2_3
Tanque Clarificador	MTTO_TC_3
Filtro De Arena	MTTO_FFA_3
Filtro De Carbon Activado Y Ozonizador	MTTO_FFC_3
Suavizador De Agua	MTTO_DES_3
Osmosis Inversa	MTTO_OSM_3

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 15. Mantenimientos preventivos eléctricos para el proceso

MANTENIMIENTO ELECTRICO	
Maquinas	MTTO
Bomba Centrifuga 1	MTTO_CB1_4
Bomba Centrifuga 2	MTTO_CB2_4
Bomba Centrifuga 3	MTTO_CB3_4
Bomba Centrifuga 4	MTTO_CB4_4
Bomba Graduable Dosificadora 1	MTTO_OB1_4
Bomba Graduable Dosificadora 2	MTTO_OB2_4

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 16. Mantenimientos preventivos instrumentalistas para el proceso

MANTENIMIENTO INSTRUMENTISTA	
Maquinas	MTTO
Bomba Centrifuga 1	MTTO_CB1_2
Bomba Centrifuga 2	MTTO_CB2_2
Bomba Centrifuga 3	MTTO_CB3_2
Bomba Centrifuga 4	MTTO_CB4_2
Tanque Clarificador	MTTO_TC_2
Filtro De Arena	MTTO_FFA_2
Filtro De Carbon Activado Y Ozonizador	MTTO_FFC_2
Osmosis Inversa	MTTO_OSM_2

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se definen finalmente unas medidas de efectividad, estas medidas permiten identificar de forma optima los cambios provocados por los cambios propuestos en los procesos de mantenimiento preventivo de maquinaria. Teniendo presente tanto el estado real donde estan ocurriendo las fallas, como el estado propuesto donde se tienen presentes todos los mantenimientos de diferentes tipos necesarios para tener un optimo uso de la maquinaria y minimizar al máximo los tiempos desperdiciados por fallas imprevistas de los equipos. A continuacion, se presentara la forma en la que se evaluará con las siguientes medidas de efectividad:

Tabla 17. Medidas de Efectividad del modelo de simulación

MEDIDAS DE EFECTIVIDAD
TS_AGUA
AGUA_IN
AGUA_OUT
AGUA_DES

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La medida de efectividad TS_AGUA se utiliza para conocer cuanto tiempo promedio que requiere el agua pasar por todos recursos hasta llegar a la planta de la empresa.

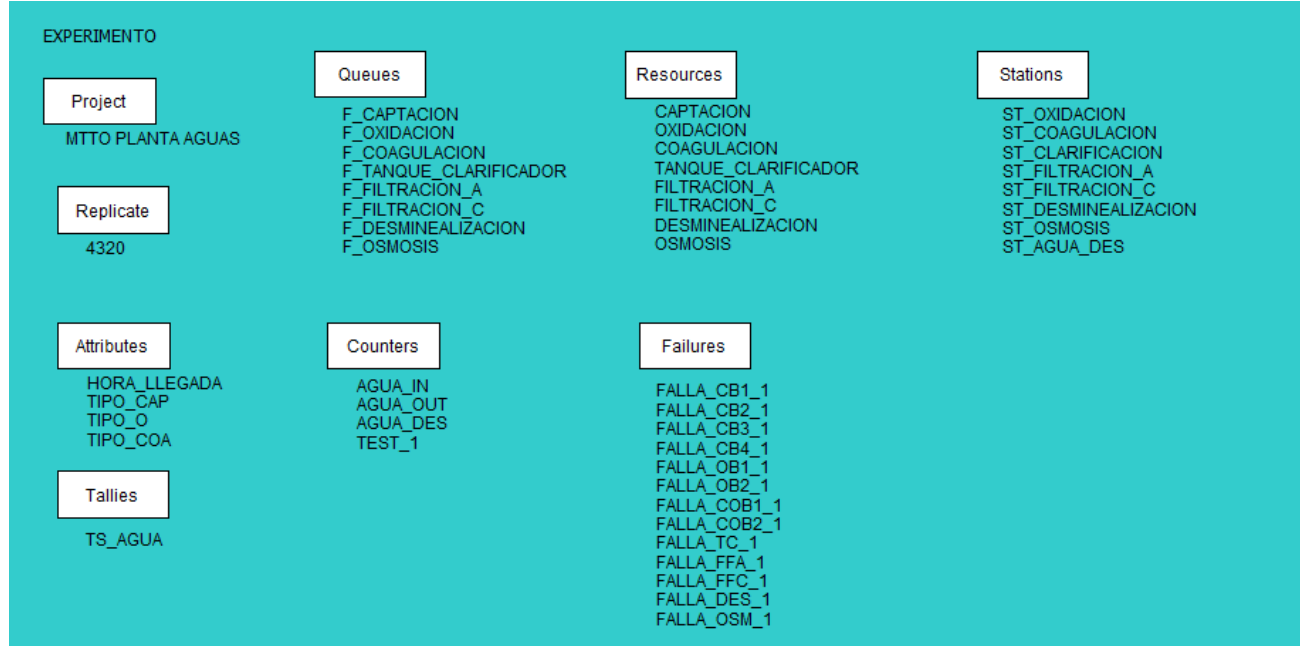
La medida de AGUA_IN Y AGUA_OUT. Es la cantidad de agua que entra y la que alcanza a salir en el horizonte de tiempo simulado, en este caso de 4320 horas.

La medida de AGUA_DES. Es la cantidad de agua que debe desviarse de captación que no se puede utilizar por la ocupación total de la capacidad de maquinaria cuando en alguna parte del proceso se genera una falla o una avería.

8.2 SIMULACION

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso con sus respectivos atributos y todas las características previamente mencionadas en lenguaje de Arena. La distribución de los procesos son determinísticas debido a se comportan de la misma forma en el proceso de tratamiento de agua a evaluar y en la propuesta en el proyecto. Viéndose los cambios reflejados en el flujo del agua en la situación actual con las fallas de maquinaria y la propuesta con los mantenimientos preventivos.

Figura 3. Experimento en Arena del proceso actual



Fuente: Elaboración propia, 2020.

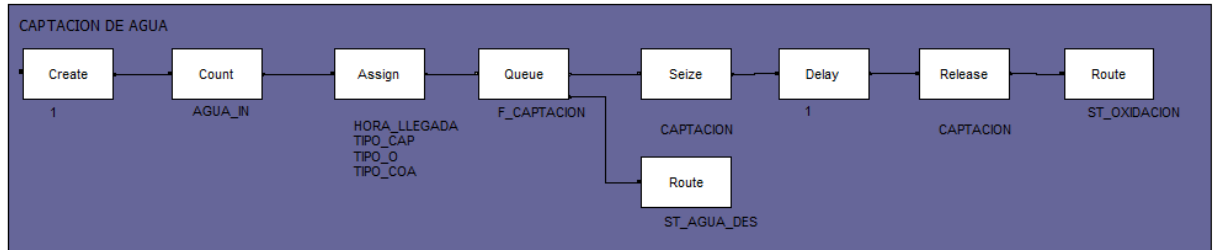
Figura 4. Experimento en Arena de la propuesta



Fuente: Elaboración propia, 2020.

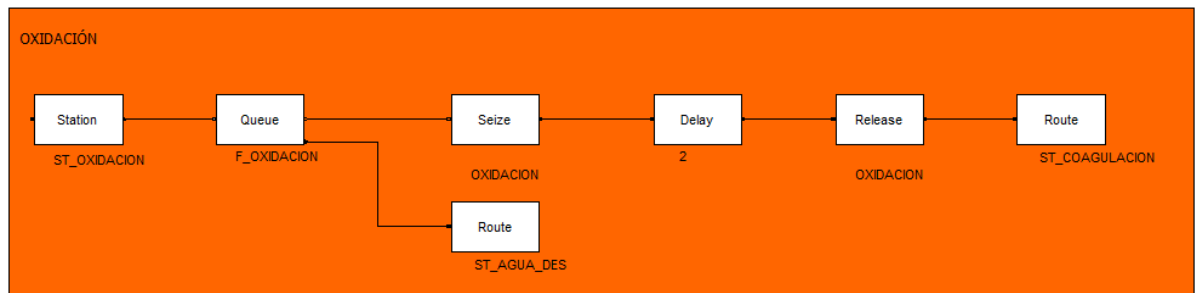
Luego, se presentan todas las características previamente mencionadas en el diseño del experimento, utilizando el lenguaje de Arena Simulator.

Figura 5. Diseño del proceso de captación



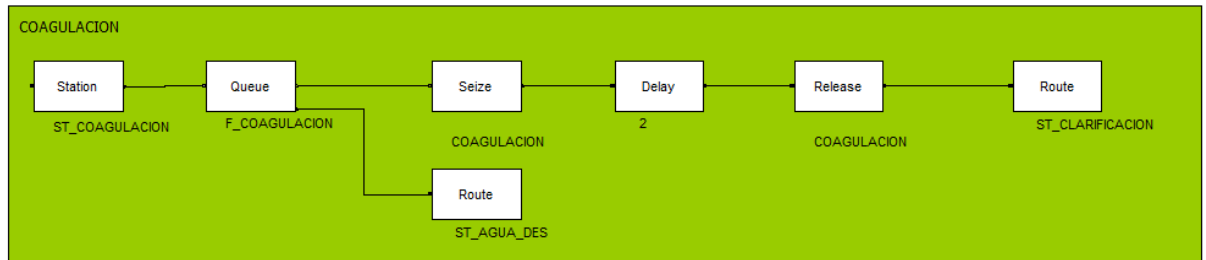
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 6. Diseño del proceso de Oxidación



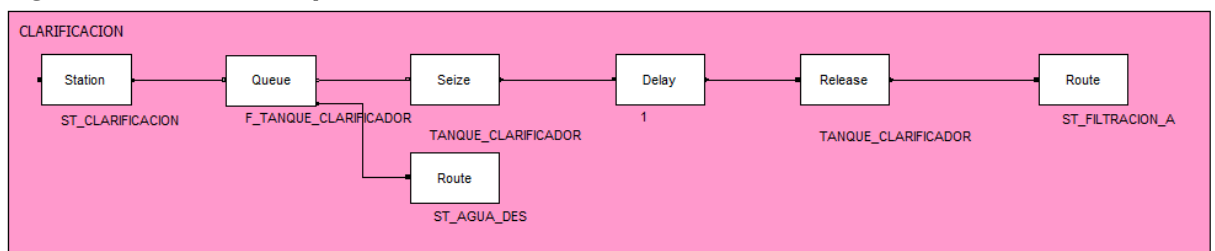
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 7. Diseño del proceso de Coagulación



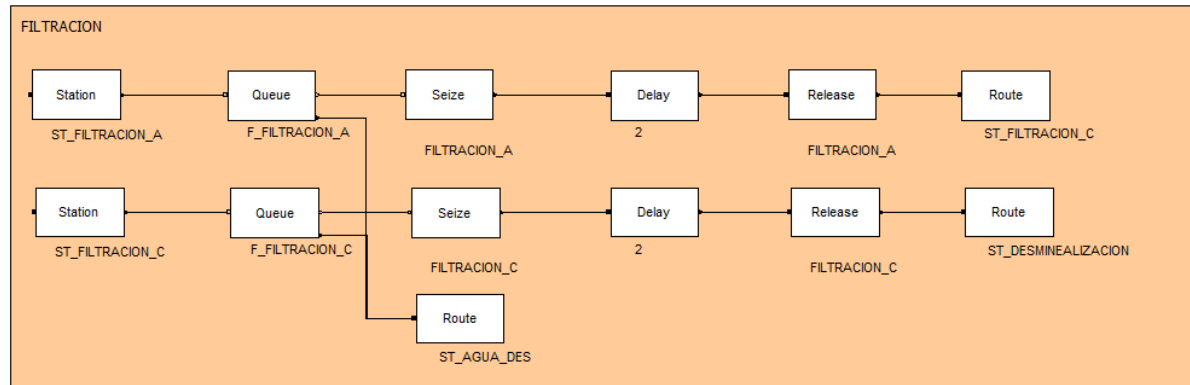
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 8. Diseño del proceso de Clarificación



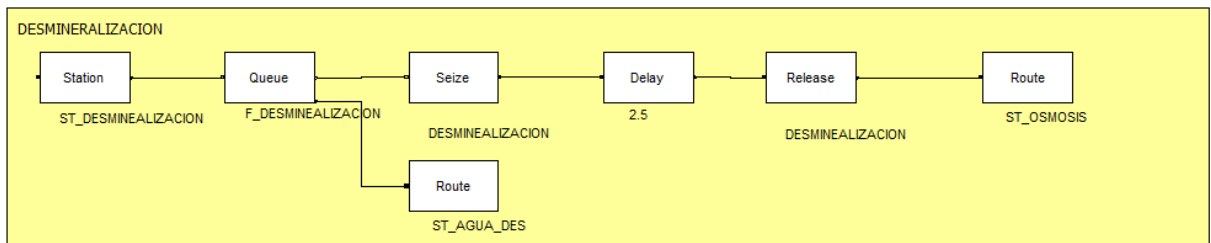
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 9. Diseño del proceso de Filtracion



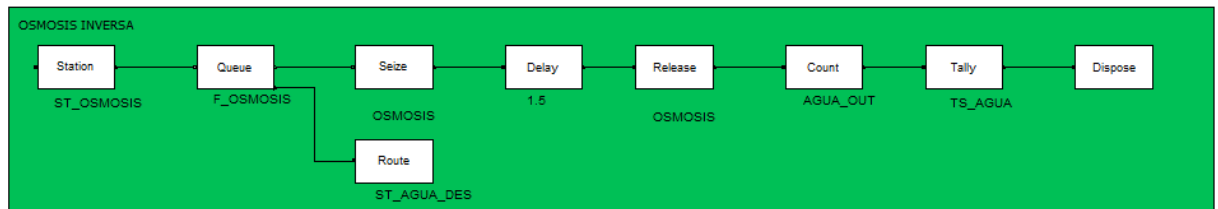
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 10. Diseño del proceso de Desminealización



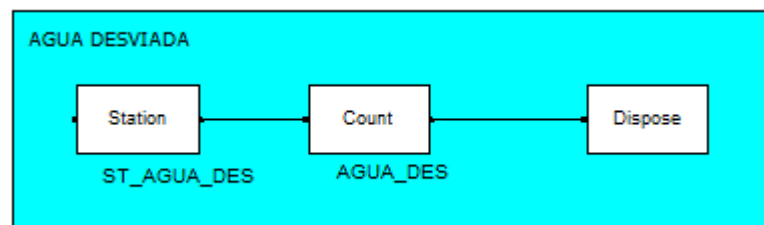
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 11. Diseño del proceso de Osmosis Inversa



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 12. Diseño del proceso del agua desviada



Fuente: Elaboración propia, 2020.

8.3 RESULTADOS

Para la evaluación comparativa se presentara primero la duración, la periodicidad de cada tipo de mantenimiento y posteriormente su costo para la empresa objeto de estudio comparado con el histórico de fallas.

Tabla 18. Horizonte de tiempo estipulado

Horas por día	días al mes	meses al año	Horas a simular
24	30	6	4320

Fuente: Elaboracion propia, 2020

Para definir el análisis comparativo, se define la cantidad de agua disponible total del sistema en el horizonte de tiempo definido y se define además la cantidad de recursos necesarios a invertir en los mantenimientos preventivos comparados con los sobrecostos generados por averías, fallas y maquinaria detenida.

Tabla 19. Comparativa de simulación en los dos escenarios

Medida de efectividad	Mantenimiento correctivo actual	Mantenimiento preventivo propuesto	Medida
TS_AGUA	16,40	14,01	tiempo promedio (horas)
AGUA_IN	432.100	402.100	Metros cubicos
AGUA_OUT	293.700	400.400	Metros cubicos
AGUA_DES	136.800	1.700	Metros cubicos
Tiempo de maquinaria detenida	2271	353	Horas

Fuente: Elaboracion propia, 2020.

Los resultados de la simulación arrojan que en ambos escenarios entra la misma cantidad de agua (100 metros cúbicos por hora) que es lo ideal según especificaciones de la empresa para un optimo aprovechamiento del recurso y de las necesidades de la planta productiva. Por lo que:

En el primer escenario, que se simulaban las fallas históricas de las maquinarias relacionadas con el proceso se tuvieron presentes que de los 432.100 metros cúbicos que ingresaron al sistema, solo fueron aprovechados 293.700 siendo un 67,97% de aprovechamiento de agua para la planta. En el segundo se evidencia que realizando las paradas requeridas para cumplir con los mantenimientos preventivos programados en la propuesta; de los 402.100 metros cúbicos que ingresaron al sistema, fueron aprovechados 400.400 esto proporcionalmente hablando de un 99,577%

Esta comparación permite verificar que realizando el mantenimiento preventivo de forma adecuada teniendo presentes los históricos de fallas, los costos y con un conocimiento amplio de naturaleza del proceso se puede garantizar el flujo continuo de agua hacia la planta productiva en un casi 100% de las veces.

También se verifica que la cantidad de tiempo necesario para que el agua ingresada llegue tratada a la planta productiva se ve reducida un 14,56% permitiendo así, verificar una mayor fluidez en los procesos de tratamiento del agua. Teniendo ya presente los beneficios simulados de la implementación de la propuesta, se pasa a verificar y constatar de forma económica los costos relacionados con la aplicación de la propuesta, estos a su vez comparados con los sobrecostos históricos provocados por una mala programación de mantenimiento; no solo generando retrasos y pérdidas monetarias sino también una reducción significativa de la vida útil de los equipos.

Finalmente se analiza la cantidad de horas totales de maquinaria detenida en el horizonte de tiempo de análisis, donde se tenía un histórico de fallas que provocaban un total de 2.271 horas detenidas por averías en los equipos. Este dato disminuido por la cantidad total de horas requeridas para realizar los respectivos mantenimientos preventivos programados en la propuesta de 353 horas, esto representando un 84% de reducción de tiempo en el que el proceso se detiene por disponibilidad de maquinaria.

Tabla 20. Comparativa financiera en los dos escenarios

RECURSOS	Maquinaria	Costos por fallas de maquinaria	Costos de mantenimiento preventivo		
			Mecanico	Electrico	Instrumentista
CAPTACION	Bomba centrífuga 1	45.008.551	1.416.572	1.430.556	2.982.368
	Bomba centrífuga 2	17.990.122	1.416.572	1.430.556	2.982.368
	Bomba centrífuga 3	12.017.565	1.416.572	1.430.556	2.982.368
	Bomba centrífuga 4	10.056.017	1.416.572	1.430.556	2.982.368
OXIDACION	Bomba graduable dosificadora 1	6.485.350	2.107.624	14.306.000	-
	Bomba graduable dosificadora 2	5.464.100	2.107.624	14.306.000	-
COAGULACION	Bomba graduable dosificadora 3	5.403.094	1.075.319	-	-
	Bomba graduable dosificadora 4	7.114.925	1.075.319	-	-

RECURSOS	Maquinaria	Costos por fallas de maquinaria	Costos de mantenimiento preventivo		
			Mecanico	Electrico	Instrumentista
	Tanque clarificador	5.266.113	1.574.803	-	1.596.675
FILTRACION	Filtro de arena	79.000.167	7.516.800	-	9.630.000
	Filtro de carbon activado y ozonizador	5.668.078	897.600	-	935.000
DESMINEALIZACION Y ALMACENAMIENTO	Suavizador de agua	6.430.000	497.338	-	
	Osmosis inversa	6.686.250	497.338	-	937.500
TOTAL		205.904.082	23.016.052	34.334.222	25.028.645
COSTO TOTAL			82.378.920		

Fuente: Elaboracion propia, 2020.

En cuanto a la disminución de gastos de la implementación de la propuesta se tiene presente que se reducción de \$130.211.412. los costos de los mantenimientos propuestos estan definidos por la cantidad de mano de obra extra requerida para realizarlos, los repuestos para cada uno de los tipos de mantenimiento y la cantidad de horas necesarias de maquinaria detenida. Esto equivaldría a un 61.2499% de ahorro de mantenimiento de maquinaria en la empresa objeto de estudio.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una inadecuada intervención en cuanto a las actividades no debidamente controladas y supervisadas de mantenimiento y la falta de pericia de los operarios y estandarización de los procedimientos son los causantes de los altos sobrecostos relacionados con la reparación de maquinaria y una alta cantidad de horas en que el proceso se detiene debido al alto número de mantenimiento correctivo no programado. Dejando en evidencia que los protocolos y planificación de mantenimiento actuales basados en metodologías arcaicas e ineficientes presentan grandes falencias, estas malas prácticas dejando semestralmente un aproximado de \$ 418.798.332 millones de pesos en sobrecostos divididos en pago de mano de obra extra, repuestos y maquinaria detenida. Evidenciándose que para este tipo de situaciones es preciso contar con una estructurada base diagnóstica para que, teniendo presentes datos reales y precisos se pueda diseñar propuestas de mejoras con resultados óptimos.

Teniendo presente las oportunidades de mejora se define una propuesta de mantenimiento preventivo para la planta de tratamiento de agua que tendrá mucha utilidad ya que no solo ira dirigido a la maquinaria y las herramientas, sino también al personal que es el encargado de velar para que las máquinas estén en un estado óptimo y se alargue su ciclo de vida útil y así tener la posibilidad de crear cultura, conciencia y constancia en el buen manejo de las herramientas y el autocuidado. Por esto y teniendo en cuenta el contexto de las actividades realizadas en la planta se optó por hacer recomendaciones de capacitaciones en los distintos tipos de mantenimiento para así tener una visión más clara y precisa acerca de los beneficios que genera una planeación y programación correcta de mantenimiento. Buscando mejorar las condiciones de trabajo y la eficiencia y, en consecuencia la productividad y la disponibilidad para los requerimientos de la planta productiva de la organización.

Por medio del modelo de simulación diseñado en la propuesta y sus resultados se detectó la posibilidad de mejorar y garantizar el flujo constante de agua para la planta productiva pasando de un 67,97% de disponibilidad de flujo de agua a un 99,577% mejorando así su productividad cuando se establece una correcta planeación y programación de mantenimientos preventivos que se ajuste a la naturaleza de la maquinaria y la del proceso como tal disminuyendo costos, tiempos detenidos y un aumento del flujo de los procesos. Además, la evolución y el seguimiento que permite la herramienta del proceso generara un óptimo control y retroalimentación de la herramienta teniendo presente diferentes variaciones que aparezcan a lo largo del proceso de tratamiento de agua porque la simulación de eventos discretos, permite de manera visual analizar el comportamiento de cada una de las variables que interviene en el recorrido del agua.

BIBLIOGRAFIA

- Minaya, R (2012), NAKAJIMA, Seiichi. PROGRAMA DE DESARROLLO DEL TPM. Madrid. Edición en español Tecnología de gerencia y producción S.A. 199.
- Cabrera, D. & Vargas, D. (2011), Mejorar el Sistema Productivo de una Fábrica de Confecciones en la ciudad de Cali aplicando herramientas Lean Manufacturing, Universidad ICESI, facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial, Santiago de Cali.
- Lozada, J. & Sanchez, D. (2009), Estructuración del mantenimiento productivo total (TPM) como herramienta de mejoramiento continuo en la línea de inyección de aluminio fábrica de motores y ventiladores siemens S.A, Universidad distrital Francisco José de Caldas facultad tecnológica Ingeniería de Producción.
- Faccio, E. (2010), extracting information from repertory grid data: new perspectives on clinical and assessment practice, Universidad de Padova Marco Castiglioni, Universidad de Milano, Bicocca Richard.
- López, E. (2009), El mantenimiento Productivo Total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación, Universidad Javeriana, trabajo de grado facultad de Ingenierías, Bogotá 2009.
- Rey, F. (2003). Francisco Rey Sacristán, Libro Mantenimiento Total de la Producción TPM proceso de implantación y desarrollo, editorial FC, edición original TGP-Hoshin S.L.
- Villegas, G. & Vélez, A (2010), Implantación del Mantenimiento Productivo Total – TPM, en escenarios de fusión corporativa: Resultados de una investigación, Departamentos de Ingeniería Mecánica y de Organización y Gerencia Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Rodríguez, H. & y Eduardo, R. (2014), diseño de un plan de mantenimiento preventivo para instalaciones industriales de bombeo de agua potable, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas Julio
- Ibarra, S. (2006), Estrategia de Producción. Orígenes, Conceptos y definiciones fundamentales, Universidad central de las Villas, Cuba.

- Ortiz, V. (2000), Aplicaciones del T.P.M. en empresas industriales y de servicios, Lima Perú.
- Aranguren, J. (2015), Implantación exitosa de TPM en la Industria Colombiana, Universidad Eafit Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería mecánica Medellín - Colombia 2015.
- Millán, J (2005), Guía Ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel Municipal. Publicación conjunta del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la Republica de Colombia, El banco Mundial y el Departamento Nacional de Planeación.
- Restrepo, C. (2004) Implantación de TPM en Noel: un proceso de aprendizaje organizacional. EAFIT, Maestría en Administración
- Rey, F. (2003). Mantenimiento total de la producción (TPM): implantación y Desarrollo. Published by Fundacion ConfeMetal Editorial
- Tajiri, M., & Gotoh, F. (1999). Autonomous Maintenance in Seven Steps: Implementing TPM on the Shop (p. 352).
- Torres, L. (2010) Mantenimiento su implementación y gestión. Editor: Córdoba Universitat. 3ra Edición.
- Yeiny Jiménez (2012), Propuestas de mejora bajo la filosofía TPM para la empresa Cummins de los Andes S.A, Ruiz Corporación Universitaria lasallista, facultad de Ingenierías, Ingeniería Industrial, Caldas- Antioquia.