

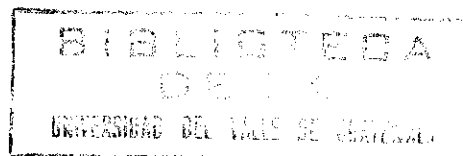


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Química

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO
PRODUCTIVO TOTAL (TPM), EN EL ÁREA DE TRATAMIENTO
DE AGUA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE REFRESCOS**

RICARDO ALBERTO CÓRDOVA PACAS

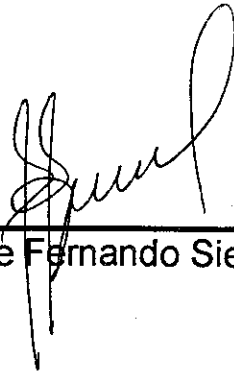
**Trabajo de graduación presentado
para optar al grado académico de
Ingeniero Químico**



Guatemala
2000

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO
PRODUCTIVO TOTAL (TPM), EN EL ÁREA DE TRATAMIENTO
DE AGUA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE REFRESCOS**

ASESOR:

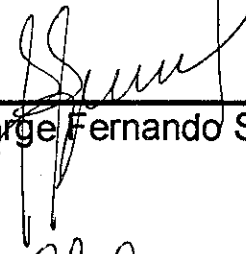


Ing. Jorge Fernando Sierra López

TERNA EXAMINADORA:



Ing. José Eduardo Calderón García



Ing. Jorge Fernando Sierra López



Ing. Guillermo Rodas Rosa

Agradezco a quienes me guiaron
hasta este punto de mi carrera

A Dios por sobre todas las cosas
A mi familia

RESUMEN

Este trabajo es el resultado parcial de la implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el área de Tratamiento de Agua en una planta industrial de refrescos, lo cual permite cumplir con el objetivo de mejorar el sistema de control del proceso de producción de agua tratada, para la fabricación del producto final.

El trabajo cuenta con una sección de antecedentes que recopila los conocimientos básicos que se relacionan con la implementación del sistema TPM, así como con el proceso de tratamiento de agua, entre ellos, el funcionamiento del sistema TPM, la maximización de los equipos, visión general del sistema TPM, reducción de pérdidas, mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo y tipos de tratamiento de agua.

Para poder implementar el sistema de TPM, se elaboraron los respectivos manuales de operación y de arranques y paros del sistema de producción de agua tratada.

Con el sistema implementado se logra mejorar el control de proceso de tratamiento de agua, así como aumentar la producción (se aumentó un 9%) y la efectividad de los equipos (se incrementó un 11%).

Si se desea profundizar en cualquiera de los principios que intervienen en el proceso de tratamiento de agua, la bibliografía contiene textos especializados en este proceso.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. TPM	3
A.1. HISTORIA DEL TPM	3
A.2. TPM Y EL FUTURO DEL MANTENIMIENTO	4
A.3. FUNCIONAMIENTO DEL TPM	4
A.4. MAXIMIZACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS EQUIPOS	6
A.5. INTRODUCCIÓN DEL TPM EN LA FÁBRICA	8
A.6. VISIÓN GENERAL DEL PROGRAMA DE DESARROLLO DEL TPM	9
A.7. EFICACIA DEL EQUIPO	11
A.8. MEDICIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS EQUIPOS..	13
A.9. MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	19
A.10. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	20
A.11. MEDICIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL TPM	22
B. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA	24
B.1. TIPOS DE TRATAMIENTO	25
B.2. EFECTOS PRODUCIDOS POR IONES ESPECÍFICOS	25

B.3.	REACCIONES QUÍMICAS RELACIONADAS CON LA REDUCCIÓN DE DUREZA DEL AGUA	26
B.4.	FILTROS DE SEDIMENTO	27
B.5.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	27
III.	JUSTIFICACIÓN	28
IV.	OBJETIVOS	29
1.	GENERALES	29
2.	ESPECÍFICOS	29
V.	PROBLEMA A RESOLVER	30
VI.	METODOLOGÍA	31
VII.	RESULTADOS	32
VIII.	DISCUSIÓN	41
IX.	CONCLUSIONES	45
X.	RECOMENDACIONES	46
XI.	BIBLIOGRAFÍA	47
XII.	ANEXOS	48
1.	GLOSARIO	48
2.	TABLA No.4: COMPONENTES DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO (E.G.E.)	51
3.	GRAFICA No.1: INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA LUEGO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TPM	51
4.	GRÁFICA No.2: VELOCIDAD EN EL E.G.E.	52
5.	GRÁFICA No.3: DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO EN EL E.G.E.	52
6.	GRÁFICA No.4: CALIDAD (MERMA) EN EL E.G.E.	53
7.	GRÁFICA No.5: E.G.E. Y SUS COMPONENTES	53

INDICE DE TABLAS

TITULO DE LA TABLA	PAGINA
TABLA No.1: EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO (E.G.E.)	39
TABLA No.2: INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA	39
TABLA No.3: FORMATO DE ANÁLISIS QUÍMICOS A REALIZAR AL AGUA A TRATAR	40
TABLA No.4: COMPONENTES DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO (E.G.E.)	51

INDICE DE GRÁFICAS

TITULO DE LA GRÁFICA	PAGINA
GRÁFICA No.1: INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA LUEGO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TPM	51
GRÁFICA No.2: VELOCIDAD EN EL E.G.E.	52
GRÁFICA No.3: DISPONIBILIDAD DE EQUIPO EN EL E.G.E.	52
GRÁFICA No.4: CALIDAD (MERMA) EN EL E.G.E.	53
GRÁFICA No.5: E.G.E. Y SUS COMPONENTES	53

I. INTRODUCCION

El presente trabajo consiste en implementar un sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el área de Tratamiento de Agua en una planta industrial de refrescos.

Uno de los aspectos importantes para lograr esta implementación, es la elaboración de los manuales de operación de los equipos del sistema, así como el manual de arranques y paros del sistema, para luego capacitar a los operadores de la planta y así obtener un mejor control del proceso de producción de agua tratada. Otro aspecto es el establecimiento de la efectividad global de los equipos utilizados en dicho sistema, que consiste en la determinación del tiempo real de trabajo de la planta, la velocidad real de trabajo, el porcentaje de disponibilidad de los equipos durante el tiempo real de operación de la planta, y el porcentaje de merma (pérdidas de producción) que existe durante el proceso; con estos tres valores determinados, se calcula dicha eficiencia. El resultado de esta efectividad se analiza para luego hacer las correcciones necesarias, ya sea al proceso o a los materiales utilizados para elaborar los productos y mejorar el control del proceso de producción.

Para el control del proceso se elaborará un formato para realizar, periódicamente, análisis químicos al agua, en las diferentes etapas del proceso, tales como determinación de la dureza total, dureza de calcio, pH, alcalinidad y cloro.

También se llevará a cabo un análisis de las posibles causas por las que el proceso de producción de agua tratada se interrumpe, para el posterior planteamiento del mantenimiento preventivo, lo cual influye en la eficiencia global de los equipos, específicamente en la determinación del tiempo real de trabajo de la planta.

II. ANTECEDENTES

A. TPM

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), definido a menudo como mantenimiento productivo realizado por todos los empleados, se basa en el principio de que la mejora de equipos debe implicar a toda la organización, desde los operadores de la cadena hasta la alta dirección. (6)

La innovación principal del TPM radica en que los operadores se hacen cargo del mantenimiento básico de su propio equipo, mantienen sus máquinas en buen estado de funcionamiento y desarrollan la capacidad de detectar problemas potenciales antes de que ocasionen averías y, por lo tanto, influyen en el proceso de producción. En su esfuerzo para lograr la eliminación de averías, el TPM promueve una producción libre de defectos, producción "justo a tiempo" y automatización. (6)

A.1 HISTORIA DEL TPM

El mantenimiento preventivo se introdujo en los años cincuenta y el mantenimiento productivo alcanzó un buen grado de implementación en los años sesenta. El desarrollo del TPM comenzó en los años setenta. El tiempo que precede a los años cincuenta puede denominarse período de "mantenimiento de averías". El TPM se introdujo en Japón hace más de diez años y ha sido generalmente aceptado. Por ejemplo, constituye un soporte esencial del sistema de producción de Toyota. El TPM ha sido igualmente implantado por muchas de las filiales de Toyota. (6)

A.2 TPM Y EL FUTURO DEL MANTENIMIENTO

Hasta los años setenta, el mantenimiento productivo en Japón consistía principalmente en mantenimiento preventivo o temporal, lo que suponía servicio y revisión periódicos. Durante los años ochenta, el mantenimiento preventivo fue rápidamente reemplazado por el mantenimiento predictivo o basado en las condiciones. El éxito del TPM depende de nuestra capacidad para conocer continuamente el estado del equipo para predecir y evitar fallos. El mantenimiento predictivo es parte significativa del TPM porque utiliza técnicas modernas de supervisión para diagnosticar el estado del equipo durante la operación al identificar señales de deterioro o fallos inminentes. (6)

A.3 FUNCIONAMIENTO DEL TPM

El TPM es mantenimiento productivo realizado por todos los empleados a través de actividades en pequeños grupos. Igual que el TQC, que significa control total de calidad en el conjunto de la compañía, el TPM es mantenimiento de equipos llevado a cabo en el conjunto de la compañía, para tener un mejor control del proceso. El término TPM fue definido en 1971 por el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas que incluye las cinco metas siguientes:

1. Maximizar la eficacia del equipo (mejorar la eficacia global).
2. Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para la vida útil del equipo.
3. Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos en la implementación del TPM (ingeniería y diseño, producción y mantenimiento).
4. Implicar activamente a todos los empleados del área, desde operadores hasta alta dirección.
5. Promover el TPM a través de la gestión de la motivación: actividades autónomas en pequeños grupos. (6)

La palabra total en "mantenimiento productivo total" tiene tres significados relacionados con tres importantes características del TPM:

- *Eficacia total*: la búsqueda de eficacia económica o rentabilidad.
- *Mantenimiento Preventivo (PM) total*: la prevención del mantenimiento y mejorar la facilidad del mantenimiento y el mantenimiento preventivo.
- *Participación total*: el mantenimiento autónomo por la actividad de operadores o pequeños grupos en cada departamento y a cada nivel. (6)

El primer concepto, ***eficacia total***, se acentúa en el mantenimiento predictivo y productivo. (6)

El segundo concepto, ***PM total***, fue también introducido durante la era del mantenimiento para toda la vida útil del equipo e incluye la prevención del mantenimiento, que es lo que se procura alcanzar durante las fases de diseño del equipo. Una vez instalado éste, el sistema de mantenimiento total requiere mantenimiento preventivo y mejora de la mantenibilidad. (6)

El último concepto, ***participación total***, que incluye mantenimiento autónomo con actividades de operadores y pequeños grupos, es componente único del TPM. (6)

Ejemplos de TPM

El TPM tiene dos metas, averías cero y defectos cero. Cuando las averías y los defectos se eliminan, mejora el índice operativo del equipo, se reducen los costos, se pueden minimizar los inventarios y, como consecuencia, aumenta la productividad de la mano de obra. Una empresa redujo el número de averías a 1/50 de la cifra original; algunas compañías muestran aumentos del 17 al 26% en los índices operativos de los equipos, mientras otras obtienen una reducción del 90% en los defectos de proceso; en general, aumenta la productividad de la mano de obra en un 40 a 50%. (6)

Naturalmente, no se puede obtener este tipo de resultados de la noche a la mañana. Normalmente se requieren tres años desde la introducción del TPM hasta que se obtienen resultados óptimos. Además, en la primera fase del TPM la compañía debe soportar los gastos adicionales de restaurar las condiciones apropiadas de los equipos y formar al personal. El costo real depende de la calidad inicial del equipo, los conocimientos técnicos y la experiencia del personal de mantenimiento. Sin embargo, a medida que la productividad crece, se acortan rápidamente estos costos; por esta razón, cuando se habla de TPM, se utiliza a menudo la expresión "PM rentable". (6)

A.4 MAXIMIZACION DE LA EFECTIVIDAD DE LOS EQUIPOS

La meta principal de toda actividad de mejora de una fábrica es aumentar la productividad al minimizar los recursos de ingreso y maximizar los de salida. Los recursos de salida no comprenden solamente el incremento de la productividad, sino también la mejora de calidad, costos más bajos, entrega en plazo, mayor seguridad e higiene industrial, moral más alta y un entorno de trabajo más favorable. (6)

La relación entre los dos tipos de recursos se puede visualizar como una matriz. Los trabajadores, la maquinaria y el material se combinan como recursos de entrada, mientras los de salida consisten en producción, calidad, costos, entrega, seguridad, higiene y entorno, y, moral y relaciones humanas. Los factores de los recursos de entrada se determinan por la distribución de la mano de obra, la ingeniería y el mantenimiento de plantas, así como el control de inventarios. La ingeniería y el mantenimiento de planta están directamente relacionados con todos los factores de los recursos de salida. Con el aumento de la automatización y la reducción de personal, la producción pasa de las manos de los trabajadores a la maquinaria. Al llegar a este punto, el equipo y la maquinaria son factores cruciales para el incremento de los recursos de salida. La productividad, calidad, costo y entrega, así como la seguridad, higiene, entorno y moral están todos considerablemente influidos por las condiciones del equipo. (6)

La meta del TPM es intensificar la eficacia del equipo, lo cual implica un buen diseño del proceso. Se esfuerza en lograr y mantener unas condiciones óptimas del equipo para evitar averías imprevistas, pérdidas de velocidad y defectos de calidad en los procesos. La eficacia en su conjunto, se consigue al minimizar el costo de la conservación y mantenimiento de las condiciones de los equipos a través de toda su vida útil, en otras palabras, minimizar el costo del ciclo de vida. (6)

La eficacia del equipo se maximiza y el costo del ciclo de vida útil se minimiza por medio del esfuerzo realizado en el conjunto de la compañía para eliminar las "seis grandes pérdidas" siguientes, que restan eficacia al equipo:

Tiempo Muerto

1. Averías debidas a fallos del equipo.
2. Preparación y ajustes.

Pérdidas de velocidad

3. Tiempo en vacío y paradas cortas.
4. Velocidad reducida.

Defectos

5. Defectos en el proceso y repetición de trabajos.
6. Menor rendimiento entre la puesta en marcha de las máquinas y la producción estable. (6)

A.5 INTRODUCCION DEL TPM EN LA FABRICA

Los tres factores principales para mejoras en los lugares de trabajo son motivación, competencia y entorno de trabajo. El TPM comprende los tres: conduce a mejoras corporativas fundamentales al mejorar el empleo de trabajadores y equipos. Para eliminar las seis grandes pérdidas se debe cambiar primero la actitud o motivación de las personas y aumentar su habilidad. Se debe también crear un entorno de trabajo que sirva como soporte para la introducción del TPM. Sin embargo, si para atacar el problema, la alta dirección no asume el liderazgo, la transformación necesaria para el cambio en actitudes, equipos y entorno corporativo, no progresará con suavidad. (6)

El TPM como política básica de la compañía

El TPM combina la fijación de metas de "arriba-abajo" por parte de la alta dirección con actividades "abajo-arriba" de mejora y mantenimiento por pequeños grupos de la línea. La alta dirección tiene que incorporar el TPM en la política básica de la compañía y establecer metas concretas, tales como aumentar el índice operativo de los equipos en más del 80% o reducir las averías en un 50% en el curso de varios años. El TPM sólo puede tener éxito con la implicación de la alta dirección, si los directivos están determinados a implementar el TPM, el éxito está virtualmente garantizado. (6)

Desarrollo de un plan maestro TPM

Para implementar el TPM en el curso de, por ejemplo, tres años, se requiere un plan maestro. Una vez desarrollado el plan, éste sirve como programa para TPM, que puede desglosarse en distintas fases:

- Mantenimiento autónomo mediante la actividad de pequeños grupos en el departamento de producción.
- Refinamiento del mantenimiento preventivo por el departamento de mantenimiento y mejora de la mantenibilidad para prevenir el deterioro de los equipos.

- Reducción de fallos en la puesta en marcha a través de la aplicación de técnicas de prevención del mantenimiento en la fase de diseño del equipo y del proceso. (6)

Formación TPM preliminar

La mayoría de personas sienten una resistencia innata hacia los cambios, incluso hacia cambios que se supone tendrán consecuencias deseables. El TPM aumenta la productividad y la calidad, reduce los costos, mejora los beneficios y crea un entorno de trabajo favorable. Aún así, la alta dirección de muchas compañías cuestiona la utilidad del TPM para su empresa, incluso después de observar los resultados drásticos obtenidos por otras compañías. (6)

A.6 VISION GENERAL DEL PROGRAMA DE DESARROLLO DEL TPM

Los pasos específicos necesarios para desarrollar un programa TPM deben, sin embargo, determinarse individualmente para cada compañía. El programa debe ajustarse a los requerimientos individuales, debido a que los tipos de industrias, métodos de producción, condición de los equipos, necesidades y problemas especiales, técnicas y niveles de mantenimiento varían de una compañía a otra. (6)

Hay cuatro metas interdependientes, que representan los requerimientos mínimos para el desarrollo del TPM:

1. Mejora de la eficacia de los equipos
2. Mantenimiento autónomo por los operadores
3. Adiestramiento para mejorar las habilidades operativas
4. Un programa de gestión de equipos inicial para prevenir problemas que puedan surgir durante la puesta en marcha de una nueva planta o un nuevo equipo (6)

Mejora de la eficacia de los equipos:

En este aspecto es muy importante cómo esté diseñado el proceso, es decir, el diagrama de flujo y la localización de los equipos, junto con los accesorios a utilizar. Los proyectos modelo ayudan a demostrar el potencial del TPM durante las fases iniciales de su desarrollo. Se forman varios equipos de proyecto, consistentes en personal de ingeniería y mantenimiento, así como supervisores de la cadena de producción. Se seleccionan los equipos que sufren pérdidas crónicas, preferentemente los que pueden mejorarse considerablemente en un período de tres meses de investigación y análisis concienzudos. Cada equipo de proyecto centra su actividad de mejora en una de las seis grandes pérdidas. Cuando se logran resultados positivos, el proyecto puede extenderse a otros equipos similares, con miembros de equipos de proyecto que buscan nuevas actividades de mejora a realizar por pequeños grupos en su propio sector. (6)

Mantenimiento autónomo por operadores:

El mantenimiento autónomo por operadores es una de las características más particulares que distingue al TPM. La pauta establecida y la atmósfera de una compañía no se pueden cambiar de la noche a la mañana. Se tarda de dos a tres años en cambiar la cultura corporativa, pero depende del tamaño de la compañía; todos los empleados deben estar de acuerdo en que los operadores son responsables del mantenimiento de su propio equipo. (6)

Adiestramiento para mejorar las habilidades operativas:

Algunas personas pueden sostener que con el aumento de la automatización, las habilidades operativas se vuelven superfluas. Desgraciadamente, mientras la producción sin ayuda humana puede llegar a lograrse, el mantenimiento totalmente automático no es factible. Las habilidades de los operadores deben mejorar si se quiere tener éxito con mantenimiento autónomo, mantenimiento predictivo y mantenimiento de los métodos básicos del TPM. Para implementar el TPM, una compañía debe estar dispuesta a invertir en el adiestramiento de sus empleados en el manejo de los equipos. (6)

Gestión temprana de equipos:

El ciclo de vida de una pieza de equipo comienza en el diseño del mismo, pero es también muy importante el diseño del proceso, ya que esto influye mucho en la vida útil del equipo. (6)

A.7 EFECTIVIDAD DEL EQUIPO

La efectividad del equipo es una medida del valor añadido a la producción a través del tiempo. Dicho en forma simple, es la diferencia entre los ingresos ocasionados por las ventas y el costo de recursos (material y mano de obra) empleados para fabricar el producto. El valor añadido a un producto por el equipo se reduce considerablemente por los despilfarros y las seis principales pérdidas relacionadas con el equipo; aumenta cuando sube la disponibilidad y productividad y cuando bajan los defectos en el proceso y las repeticiones de trabajos. (6)

El TPM maximiza la eficacia del equipo a través de dos tipos de actividad:

- **Cuantitativa:** aumenta la disponibilidad total del equipo y mejora su productividad dentro de un período dado de tiempo operativo.
- **Cualitativa:** reduce el número de productos defectuosos, estabiliza y mejora la calidad.

La meta del TPM es aumentar la eficacia del equipo de forma que cada pieza del mismo pueda ser operada óptimamente y mantenida en este nivel. El personal y la maquinaria deben funcionar ambos de manera estable bajo condiciones de averías y defectos cero. Aunque sea difícil aproximarse a cero, el creer que los defectos cero pueden lograrse es un requisito importante para el éxito del TPM. (6)

Seis grandes causas de pérdidas limitan la eficacia del equipo

Pérdidas por averías

Las averías causan dos tipos de pérdidas: pérdidas de tiempo cuando se reduce la productividad, y pérdidas de cantidad causadas por productos defectuosos. (6)

Pérdidas de preparación y ajustes

Cuando finaliza la producción de un elemento y el equipo se ajusta para atender los requerimientos de un nuevo producto, se producen pérdidas durante la preparación y ajuste al aparecer tiempos muertos y productos defectuosos como consecuencia del cambio. (6)

Inactividad y pérdidas de paradas menores

Una parada menor surge cuando la producción se interrumpe por un mal funcionamiento temporal o cuando la máquina está inactiva. La reducción a cero de las pequeñas paradas es una condición esencial para la producción automática. (6)

Pérdidas de velocidad reducida

Las pérdidas de velocidad reducida se refieren a la diferencia entre la velocidad diseñada para el equipo y la velocidad real operativa. Es típico que en la operación del equipo, la pérdida de velocidad sea pasada por alto, aunque constituya un gran obstáculo para su eficacia y debería ser cuidadosamente estudiada. (6)

Defectos de calidad y repetición de trabajos

Los defectos de calidad en los procesos y la repetición de trabajos son pérdidas de calidad causadas por el mal funcionamiento del equipo de producción.

(6)

Pérdidas de puesta en marcha

Son pérdidas de rendimiento que se ocasionan durante las fases iniciales de producción, desde la puesta en marcha del proceso hasta su estabilización. El volumen de pérdidas varía con el grado de estabilidad de las condiciones del proceso. (6)

A.8 MEDICION DE LA EFECTIVIDAD DE LOS EQUIPOS

La efectividad se mide con el empleo de la fórmula siguiente:

$$\text{Efectividad global del equipo} = \text{Disponibilidad Neta del Equipo} \times \text{Tasa de Rendimiento} \times \text{Tasa de Calidad}$$

El TPM eleva el nivel de efectividad total del equipo y mejora todos los factores relacionados:

- La disponibilidad (tasa operativa): mejorada por la eliminación de averías, pérdidas en la preparación / ajuste y otras pérdidas por paradas.
- El rendimiento: mejora por la eliminación de las pérdidas de velocidad, paradas menores y tiempos muertos.
- La calidad (índice de calidad de productos): mejora con la eliminación de defectos de calidad en el proceso durante la puesta en marcha. (6)

Las tasas de operación, rendimiento y calidad pueden determinarse en cada centro de trabajo, pero la importancia de cada factor varía de acuerdo con las características del producto, equipo y sistema de producción implicados. (6)

Cálculo de las tasas de operación, de rendimiento, y de calidad

El **tiempo de carga** se refiere a la disponibilidad neta del equipo durante un período dado, tal como un día o un mes. En otras palabras, es el tiempo total disponible para operar, menos el tiempo muerto planificado o necesario, tal como tiempos de descanso por precaución y reuniones diarias con el personal. El tiempo operativo es el tiempo de carga menos el tiempo que la máquina está parada debido a averías, preparaciones u otro tipo de parada. En otras palabras, es el tiempo durante el cual el equipo opera realmente. (6)

El **tiempo operativo neto** es aquel en el que el equipo opera a una velocidad estable y constante. (6) El **tiempo operativo válido** es el tiempo operativo neto menos el tiempo que se estima que requiere la repetición de los productos defectuosos; es el tiempo durante el cual se fabrican productos aceptables. (6)

La **disponibilidad o tasa de operación** se basa en la tasa de velocidad operativa y el tiempo operativo neto. La tasa de velocidad operativa es la relación entre el tiempo ideal o tiempo de ciclo diseñado para el equipo y el tiempo real del ciclo, y refleja las pérdidas por reducción de velocidad. (6)

La tasa de operación neta depende de mantener una cierta velocidad durante un período de tiempo dado. La **efectividad global del equipo** es el producto de la tasa operativa (disponibilidad), la tasa de rendimiento y la tasa de calidad. Esta medida combina la disponibilidad actual y la velocidad del equipo con la tasa de calidad. (6)

$$\text{TASA DE CALIDAD} = \frac{\text{Volumen de agua producida (a.p.)}}{\text{Volumen de a. p.} + \text{Volumen de retrolavado}}$$

$$\text{DISPONIBILIDAD NETA DEL EQUIPO} = \frac{(\text{Tiempo total de operación} - \text{Tiempo muerto planificado})}{\text{Tiempo total de operación}}$$

$$\text{TASA DE RENDIMIENTO} = \text{Velocidad real} / \text{Velocidad de diseño}$$

Niveles y metas propuestas para la efectividad global de los equipos

Los niveles de la efectividad global difieren si depende de cada industria, características del equipo y sistemas de producción implicados. El promedio de la efectividad de equipos estándar es de 40 a 60%, aunque puede incrementarse al 85 – 95% a través de diferentes actividades de mejora del TPM. (6)

Condiciones óptimas

Las *condiciones óptimas* son aquellas que son esenciales para el funcionamiento y mantenimiento óptimo de las capacidades del equipo, lo cual es muy importante para el diseño o mejora del proceso. Aunque los estándares estén disponibles, puede haber problemas como resultado de la manera en que éstos fueron desarrollados, o simplemente por ser ignorados. Por comparación, cuando los equipos se mantienen en sus niveles óptimos, el equipo puede utilizarse a pleno rendimiento durante un largo período de tiempo. (6)

¿Qué son condiciones óptimas?

Consideremos todo lo que implica la determinación de los límites de precisión y uso del equipo: ¿Cuáles son los límites de control dimensionales? ¿Qué forma es aceptable? ¿Cuánta abrasión es permisible? Con demasiada frecuencia no se establecen o se descuidan las tolerancias de precisión y los límites de control para la operación y el equipo se opera sin haberse entendido estos requerimientos. (6)

Condiciones necesarias contra condiciones deseables

Las condiciones necesarias son los requisitos mínimos para la operación; las condiciones deseables sobrepasan los niveles mínimos o estándares de operación. Las condiciones deseables no están directamente conectadas a las averías o defectos, pero influyen en el proceso. (6)

Establecimiento de condiciones óptimas

Las condiciones óptimas de operación pueden utilizarse para descubrir condiciones defectuosas. El desfase creado cuando se comparan las condiciones existentes con los valores óptimos destaca las zonas que requieren mejora. (6)

- Precisión dimensional
- Apariencia externa
- Precisión de instalación
- Precisión operativa
- Entorno
- Materiales / Resistencia

Las condiciones básicas pueden no conocerse; se puede encontrar alguna información en las especificaciones, los diseños, los manuales de instrucción de los vendedores y en otras fuentes técnicas, pero puede no ser la adecuada. Algunas veces es necesario desmontar el equipo y analizarlo para preparar diseños y especificaciones propios, examinar y decidir las condiciones óptimas basándose en pruebas y errores, y fijar límites de control del proceso. (6)

Reducción de pérdidas de velocidad

Una pérdida de velocidad es la producción que se ha perdido por causa de la diferencia entre la velocidad de diseño de una máquina y su velocidad operativa real. Esta pérdida puede prevenirse al mantener la máquina con operación a la velocidad fijada en los estándares operativos. Puesto que en la práctica esto es a menudo imposible, la reducción de las pérdidas de velocidad aumentará considerablemente la eficacia total de la planta. (6)

En la práctica hay a menudo problemas relacionados con las velocidades fijadas en la fase de diseño, tanto del equipo como del proceso. Por ejemplo, la falta de cuidado puede haber generado debilidades inherentes al diseño, que impiden que el equipo mantenga la tasa de velocidad. Cambios en la gama de productos o una mayor complejidad en sus formas introducidos con posterioridad a su diseño, pueden asimismo impedir que el equipo mantenga la tasa de velocidad. Por estas razones, se fija para cada tipo de producto una velocidad estándar. Se emplea la velocidad estándar en lugar de la velocidad de diseño para determinar las pérdidas de velocidad. (6)

Los siguientes pasos están implicados en la reducción de las pérdidas de velocidad:

- Lograr la velocidad estándar para cada producto
- Aumentar la velocidad estándar para cada producto
- Lograr la velocidad de diseño
- Sobrepasar la velocidad de diseño (6)

Problemas comunes relacionados con las pérdidas de velocidad

Los esfuerzos para aumentar la velocidad son obstaculizados por diferentes problemas:

Especificaciones vagas de los equipos

La falta de cuidado en la fase de diseño puede tener como resultado una especificación de velocidad poco clara. Como consecuencia, el equipo se opera más allá de sus límites de velocidad, produciéndose defectos y averías, o bien a una velocidad innecesariamente baja. Este es a menudo el caso de los equipos antiguos o de diseño propio. (6)

Es posible obtener las velocidades especificadas pero no se logran

Es posible que algunos equipos no se operen a la velocidad especificada debido a problemas de calidad o mecánicos que no han sido resueltos. La pérdida de velocidad puede eliminarse simplemente si se corrigen estos problemas menores. (6)

En otros casos, los niveles técnicos y las técnicas de control han avanzado desde que el equipo experimentó los primeros problemas de velocidad. Ahora, aunque no cause problemas en los niveles corrientes de la tecnología propia, la velocidad especificada sigue sin utilizarse. (6)

Investigación inadecuada de los problemas expuestos a través de los aumentos de velocidad

Conforme las velocidades aumentan gradualmente sobre los niveles actuales, los problemas de calidad o mecánicos pueden aparecer inmediatamente, o surgir de forma repentina cuando se alcanza cierta velocidad. Los defectos que causan estos problemas están latentes en las velocidades más bajas y salen a la luz solamente cuando hay un incremento de velocidad. (6)

Cuando se incrementa la velocidad de un equipo aparecen inmediatamente los defectos latentes. El incremento de la velocidad es, por lo tanto, una manera simple y productiva de conocer los defectos. (6)

Enfoques para aumentar la velocidad

Es importante conocer los problemas ocultos y determinar si corresponden a algo de los siguientes aspectos:

- Defectos sin resolver debido a insuficiente depuración durante la fase de ingeniería
- Defectos en los mecanismos o sistemas del equipo
- Mantenimiento diario inadecuado
- Precisión insuficiente, etc.

Reducción de defectos crónicos de calidad

Cuando a pesar de diferentes medidas de mejora y control, un sistema de producción genera con regularidad productos total o parcialmente defectuosos, se utiliza el término "defectos crónicos de calidad". (6)

Los productos irreparablemente defectuosos son pérdidas obvias; menos obvias son las pérdidas generadas por productos parcialmente defectuosos que requieren una inversión adicional en mano de obra para repetición de trabajos o reparaciones. (6)

A.9 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

El ideal es que quien quiera que opere el equipo, también lo mantenga. Originalmente estas dos funciones estaban combinadas. El mantenimiento realizado por los operadores del equipo, o mantenimiento autónomo, puede contribuir significativamente a la eficacia del equipo. (6)

La operación y el mantenimiento son inseparables

La producción eficiente depende tanto de las actividades de producción como de las de mantenimiento, pero la relación entre operadores y personal de mantenimiento es a menudo algo antagónica. Si los operadores pueden participar en la función de mantenimiento siendo responsables de la prevención del deterioro, es más probable que se consigan los objetivos de mantenimiento y, por lo tanto, una producción más efectiva. (6)

Asegurar la operación correcta

Los trabajadores deben operar correctamente el equipo, y la mayoría de las compañías disponen de procedimientos de trabajo, estándares operativos, u otros manuales similares que especifican los métodos operativos. Se debe enseñar a los operadores por qué el equipo tiene que operarse de una manera específica, explicando la construcción del equipo, el mecanismo, y las funciones, así como los principios que se encuentran detrás del proceso de un producto o el cambio químico a que está sometido. (6)

A.10 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es una inspección periódica para detectar condiciones de operación que puedan ocasionar averías, detención de la producción o pérdidas que perjudiquen la función; combinada con mantenimiento destinado a eliminar, controlar o remediar tales condiciones en sus fases iniciales. En otras palabras, el mantenimiento preventivo es una rápida detección y tratamiento de anomalías del equipo antes de que causen pérdidas en la producción. (6)

Tipos de estándares

Los *estándares de diseño de equipos* son los estándares para los elementos comunes del equipo (por ejemplo, válvulas), métodos estándares de cálculo de capacidad de los equipos, etc. (6)

Los *estándares de rendimiento del equipo* se refieren al rendimiento del equipo durante su operación para el proceso de producción. Indican cómo operar el equipo e incluyen sus dimensiones principales, capacidad y rendimiento, precisión, funciones, mecanismos, los materiales que lo componen, las cantidades de energía, vapor y agua requeridas para poder operar, etc. (6)

Los *estándares de aprovisionamiento de materiales del equipo* cubren la calidad del material del equipo. Se basan en los estándares de diseño de rendimiento del equipo. (6)

PREVENCION DEL MANTENIMIENTO

La gestión del equipo puede dividirse en ingeniería de proyectos e ingeniería de mantenimiento. Prevención del mantenimiento (MP) es un aspecto significativo de la ingeniería de proyecto. El fin de las actividades de prevención del mantenimiento es reducir los costos y pérdidas de mantenimiento y producción. En otras palabras, significa diseñar equipo que sea más fácil de mantener, operar y utilizar durante el proceso. (6)

El MP es importante porque sin las actividades de prevención emergen problemas cuando, después de instalar el equipo, se hacen operaciones de prueba y las primeras operaciones comerciales, incluso, aunque el diseño, la fabricación y la instalación parezcan haber sido regulares. La operación normal es difícil de implantar, y los ingenieros de producción pueden tener que hacer numerosos cambios antes de lograr una operación a pleno rendimiento de producción. (6)

Incremento de la capacidad técnica

A través de la propia creatividad y esfuerzo de los ingenieros se desarrolla un incremento en la habilidad de ingeniería, pero no es productivo para la persona descansar enteramente en el estudio teórico y en la pura experiencia de

ingeniería. Los ingenieros de departamentos relacionados con el equipo deben reunir datos de las actuales condiciones operativas y utilizarlos en un diseño para la fiabilidad y la mantenibilidad. Estos datos pueden confrontarse y desarrollarse en estándares de diseño e ingeniería. (6)

El TPM requiere un fuerte adiestramiento en mantenimiento

Para realizar las actividades TPM, una compañía necesita personal con fuerte adiestramiento en mantenimiento y temas relacionados con el equipo. Los operarios (trabajadores de la línea de producción) deben estar íntimamente integrados con su propio equipo y desarrollar los conocimientos necesarios para mantenerlo bien mientras operan. Al mismo tiempo, el personal de mantenimiento debe tener la voluntad de aprender y usar conocimientos y técnicas avanzados en respuesta al rango de problemas del equipo. (6)

Los operarios deben comprender lo suficiente de la estructura y funciones de su equipo como para operarlo apropiadamente. Su responsabilidad primaria es mantener las condiciones básicas del equipo para tener mayor facilidad de control del proceso. (6)

A.11 MEDICION DE LA EFECTIVIDAD DEL TPM

Para integrar en forma más efectiva los programas TPM en toda la fábrica y compañía, deben clarificarse en todos los niveles de la compañía los problemas actuales, el potencial para su solución, y los beneficios a ganar. Esto exige técnicas de medición que puedan aislar los problemas y el potencial de mejora en cada departamento en cualquier momento. La efectividad del TPM se mide por dos razones: para ayudar a establecer prioridades entre proyectos de mejora y para reflejar sus resultados precisa y razonablemente. Las medidas de efectividad revelan los frutos de nuestros esfuerzos diarios, aislan los puntos que debemos enfocar y nos ayudan a planificar contramedidas. (6)

Para implementar efectivamente el TPM, debemos conocer qué áreas en la planta experimentan problemas y cuáles son esos problemas. Esto requiere índices que muestren qué mejoras se necesitan actualmente en el proceso y qué clase de resultados se desean esperar. Tales índices centran las actividades de mejora identificando los aspectos más importantes. Facilitan una rápida identificación y respuesta ante el cambio y juicios más precisos, y ayudan a promover unas actividades TPM más eficientes. Los resultados de las actividades TPM se miden también al utilizar índices que muestren la efectividad relativa de las actividades y las medidas de mejora en las diferentes plantas y divisiones. (6)

B. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA

Uno de los métodos más económicos para la descarbonatación del agua son los basados en la adición de lechada de cal (hidróxido de calcio). Ellos pueden emplearse en casi todas las composiciones de agua. Si existe en el agua mucho bicarbonato de magnesio, se emplea un método de dos fases, el llamado "Split-Treatment". Es especialmente ventajosa la descarbonatación rápida por arena de cuarzo como masa de contacto, porque con ésto no tienen que separarse precipitaciones lodosas por medio de un filtro-prensa y el tiempo de reacción disminuye fuertemente. (1)

Un tratamiento con un intercambio de iones es esencialmente caro, porque además de la adquisición de aparatos costosos y de resinas de intercambio iónico, se dan permanentes costos para la regeneración de estas resinas. En comparación con la descarbonatación por medio de la lechada de cal, con el intercambio iónico no hay ningún problema si la composición del agua cambia frecuentemente. (1)

Para la producción de agua para refrescos es suficiente, generalmente, un intercambiador catiónico débilmente ácido con la consiguiente separación de dióxido de carbono. Para el agua de refrescos no es necesaria una desmineralización total con un intercambiador fuertemente ácido, seguido de un intercambiador de aniones, lo cual sería demasiado caro. Si el contenido de nitrato del agua fuera demasiado alto, puede cambiarse el nitrato por cloruro haciendo uso de resinas especiales. (1)

Métodos de membrana, como ósmosis inversa y electrodiálisis, tienen la ventaja que no emplean ningún reactivo químico y con ésto, tampoco se producen desechos peligrosos. Los costos se sitúan en el rango de las instalaciones para el intercambio iónico, porque es necesaria mucha energía eléctrica, y también el cambio necesario de la membrana en intervalos regulares, es relativamente caro. (3)

El agua forma 94-95% del peso de la mayoría de refrescos carbonatados. También sirve tanto para limpieza de equipo o como un fluido de intercambio de calor (vapor o agua caliente de alta presión). Las plantas de refrescos dependen completamente de suplidores abundantes de agua y deben tener facilidades adecuadas para descargar agua sucia a los drenajes. Para llenar estos requisitos es de gran ventaja tener un tratamiento de agua propio. (2)

El agua en su estado potable es una comodidad que se está volviendo cada vez más cara, y el costo de su tratamiento también es elevado. Muchas plantas utilizan 10 veces más agua que el volumen de refrescos producido, pero algunas disminuyeron este factor a 4 veces. Es común que estas plantas se instalen en lugares donde la disponibilidad de agua es abundante, tal como ríos, lagos, etc. o en forma subterránea como pozos o cisternas naturales. No todas las plantas de refrescos pueden tener un suplidor de abundante agua con la calidad apropiada para su proceso, por lo que se hace necesario tratar el agua. (2)

B.1 Tipos de Tratamiento:

- **Reacciones Químicas:**

- Reducción de alcalinidad y dureza.
- Eliminación de sólidos suspendidos por formación de flóculos.
- Oxidación en materia viva (destrucción de microorganismos patógenos).

(1)

- **Separaciones Mecánicas:**

- Clarificación. Asentamiento de floc formado.
- Agitación controlada. Recirculación de lodos para concentrados que se acumulan en el fondo. (1)

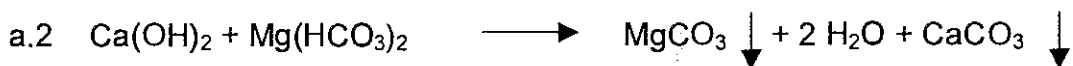
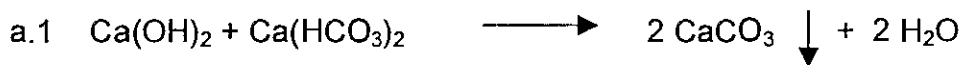
B.2 Efectos producidos por iones específicos:

Los principales iones presentes en el agua son calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfatos, cloro, bicarbonatos, carbonatos y nitratos. También existen pequeñas cantidades de hierro, cobre y otros metales pesados, más algo de sílica. De estos iones principales, los que tiene el efecto más significativo para el proceso es el calcio (Ca^{+2}), bicarbonatos (HCO_3^-) y carbonatos (CO_3^{-2}). (4)

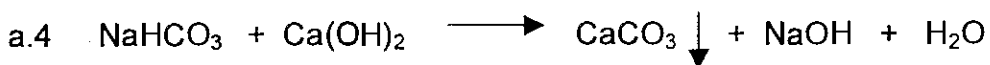
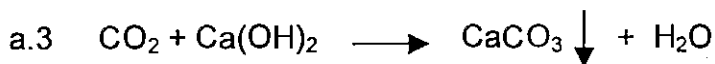
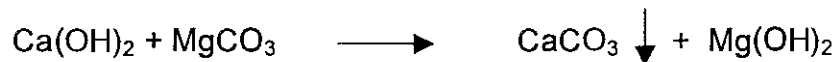
El ión calcio interactúa con los fosfatos (PO_4^{-3}) de la malta, los cuales en su mayoría son derivados durante el malteado por la acción de la enzima hirofítica fitasa. El calcio forma sales de fosfato primarias, secundarias y terciarias; las secundarias son solubles y las terciarias son insolubles. El ión magnesio no presenta el mismo efecto que el ión calcio porque las sales de fosfato secundaria y terciaria formada por él son más solubles. (4)

B.3 Reacciones químicas relacionadas con la reducción de dureza del agua:

a) CON CAL :

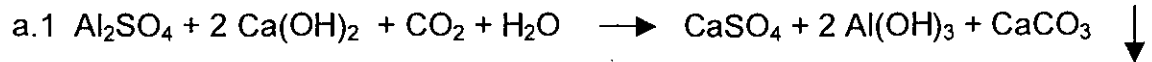


si se agrega más cal:



Reacciones químicas con floculantes:

a) CON SULFATO DE ALUMINIO :



B.4 Filtros de Sedimentos:

Consisten en recipientes a presión que contienen lechos de arena sílica filtrante y varios estratos de grava que sirven como soporte para la arena. Para su funcionamiento, el flujo de agua a través de ellos debe ser de arriba hacia abajo, mientras que para el retrolavado de los mismos el flujo debe ser a la inversa, con un flujo de por lo menos dos veces mayor que el flujo durante la filtración. (2)

B.5 Determinación de la calidad de agua:

La calidad del agua se puede evaluar por dos tipos de métodos:

- Medición de conductividad del agua (en siemens).
- Medición de resistividad (en ohms).

Por ejemplo, entre más desmineralizada esté el agua, menor es su conductividad y mayor su resistencia. (1)

III. JUSTIFICACION

En el área de Tratamiento de Agua de la planta se surte toda el agua que se necesita en la misma, tanto para la elaboración de los productos como para el funcionamiento y limpieza de los diferentes equipos, y el lavado de algunos de los materiales de empaque utilizados en el proceso de manufactura de los productos. El fin principal del proyecto es la mejora en el actual sistema de control del proceso de Tratamiento de Agua, así como también incrementar el tiempo de vida de la maquinaria y el equipo que se utiliza en el proceso, para así poder obtener el mayor provecho de la inversión que se hizo en ellos.

Este proyecto aporta, específicamente a la industria de refrescos, la implementación de nuevos sistemas de control que sirven para mejorar el control del proceso de Tratamiento de Agua, lo cual es muy importante para obtener agua de buena calidad, la cual está destinada para consumo humano.

El proyecto se realiza para conocer a fondo el proceso y así poder transmitir los conocimientos del mismo a las personas que tienen a cargo su control (operadores), lo cual es un aporte muy importante a la sociedad porque ellos transmiten a su manera dichos conocimientos y la sociedad se entera de lo importante que es tratar el agua que se obtiene de, por ejemplo, pozos, ríos y lagos, para el posterior consumo humano. Esto conduce a la culturización de la sociedad para evitar la contaminación de las fuentes naturales de agua con que cuenta el país.

IV. OBJETIVOS

1. Generales

- 1.1 Implementar un sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el área de Tratamiento de Agua de una planta industrial de refrescos, para mejorar el actual sistema de control del proceso.
- 1.2 Elaborar los manuales de operación de los equipos del sistema, así como también el manual de arranques y paros del sistema.
- 1.3 Establecer, mensualmente, la eficiencia global de los equipos utilizados en el proceso de Tratamiento de Agua.

2. Específicos

- 2.1 Capacitar al personal en las áreas de conocimiento, funcionamiento y mantenimiento de la maquinaria y equipo utilizado en el proceso de Tratamiento de Agua para poder aumentar el tiempo de vida del mismo, para así mejorar el control del proceso de producción de agua tratada.
- 2.2 Aumentar la eficiencia global de los equipos para aumentar la producción de agua tratada.
- 2.3 Realizar un análisis de las posibles causas por las que el proceso se interrumpe (paro del equipo), para hacer las correcciones necesarias.
- 2.4 Analizar cada uno de los resultados de la efectividad global de los equipos, para luego hacer las correcciones correspondientes, ya sea al proceso o a los materiales utilizados para elaborar los productos, necesario para mejorar el control del proceso de producción.
- 2.5 Elaborar un formato para realizar, periódicamente, análisis químicos al agua, en las diferentes etapas del proceso.

V. PROBLEMA A RESOLVER

El principal problema a resolver son las deficiencias que presenta el actual sistema de control del proceso de Tratamiento de Agua en una planta industrial de refrescos.

Estas deficiencias en el control del proceso provocan deterioro en el equipo, lo cual disminuye su tiempo de vida. Al mejorar dicho sistema de control, se garantiza una mejor calidad del producto final, lo cual es uno de los objetivos más importantes de la planta.

También se busca minimizar lo más que se pueda, los tiempos de paro del proceso de producción de agua para preparación de bebidas, ya sea debido a, fallos en el equipo, o a tener un producto fuera de las normas de calidad.

VI. METODOLOGIA

Para evaluar los puntos de mejora en el sistema de control del proceso se procedió de la siguiente manera:

1. Se elaboraron los manuales de operación de los equipos del sistema de Tratamiento de Agua para conocer el equipo que se tiene en el proceso de producción de agua tratada.
2. Se evaluó el actual procedimiento de arranques y paros del sistema de Tratamiento de Agua para poder evaluar los puntos de mejora en el actual sistema de control del proceso.
3. Se elaboraron los manuales del nuevo procedimiento de arranques y paros del sistema de Tratamiento de Agua.
4. Se determinaron los tiempos reales de operación del sistema de Tratamiento de Agua, así como el porcentaje de disponibilidad de los equipos durante el tiempo real de operación y la merma que existe durante el proceso de producción; esto con el fin de determinar la efectividad global de los equipos.
5. Se elaboró un formato para realizar periódicamente diferentes análisis químicos al agua, en las diferentes etapas del proceso, para mejorar la calidad del agua tratada que se produce.
6. Se realizó un análisis de las posibles causas por las que el proceso de producción de agua tratada se interrumpe.

VII. RESULTADOS

A. MANUAL DE OPERACION

1. DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO

1.1 Flauta de Suministro de agua cruda

La flauta de suministro es una tubería grande, de la cual salen 10 tuberías de menor diámetro con sus respectivas válvulas, las cuales son de mariposa. Esta flauta tiene como función distribuir el agua cruda a varios puntos de la planta, entre los que se encuentra Tratamiento de Agua. La forma en que funciona esta flauta es que al depender de los lugares a que se quiera distribuir el agua cruda, se abren las respectivas válvulas para su distribución. El agua cruda proviene de pozos y es almacenada en un tanque ubicado en el sótano del salón de embotellado.

1.2 Reactores

Son grandes tanques abiertos, de forma cónica vertical, que tienen un cono invertido en su interior, dentro del cual hay un eje que consta de seis aspas que mezcla el agua junto con los materiales indirectos de producción. Están contruidos de acero, con un puente, escalera y barandales, motor guía y eje del agitador. Los reactores son manejados por medio de un panel de control, ubicado a un lado del reactor #2.

1.2.1 Cabezal removedor de lodos

Es de 6" de diámetro, con perforaciones orientadas hacia el fondo; sirve para recolectar los lodos formados dentro del reactor. Su funcionamiento consiste en que por sus perforaciones entran los lodos y se recolectan dentro del cabezal, el cual lleva los lodos hacia el drenaje.

1.2.2 Control de Nivel a base de electrodos

Controla el nivel del reactor, y se utiliza para arranque y paro de las bombas de transferencia de agua.

1.2.3 Motor Eléctrico

Es un motor acoplado a un reductor de velocidades variables. Sirve para mover el agitador de aspas del reactor. Se pone a funcionar al presionar el botón respectivo, ubicado en el panel de control.

1.2.4 Panel de Control

Este panel está colocado a un costado del reactor #2, frente a las bombas dosificadoras de diafragma. En este panel se controlan las siguientes válvulas del reactor: la de entrada de agua cruda, la de aire para agitación, la del agitador mecánico, la de la purga de lodos y la de las bombas de transferencia de agua de los tanques buffer a los filtros de grava. También se controlan en este panel las bombas de transferencia de agua de los tanques buffer hacia los filtros de grava y las bombas de los materiales indirectos de producción.

1.2.5 Reductor de Velocidad

Sirve para reducir la velocidad del eje de aspas respecto del motor eléctrico que lo hace girar ; tiene una reducción de 60 a 1.

1.2.6 Válvula Tipo Compuerta

Esta válvula es de operación manual, de 10" de diámetro. Está ubicada subterráneamente y sirve para vaciar el reactor de agua. Consta de una compuerta y funciona al abrirse ésta última, ya sea parcial o totalmente, lo cual depende del flujo que se requiera al momento del vaciado.

1.2.7 Válvulas Tipo Grifo

Son de operación manual, de 1/2" de diámetro, roscadas en material de bronce. Son tres por cada reactor, y sirven para tomar muestras de agua del reactor: una de la zona de reacción (cono) para verificar que se lleve a cabo la reacción; una de los sólidos sedimentables (lodos) y otra de la superficie. Están ubicadas en la pared externa del reactor, y para abrir o cerrar la válvula se gira la llave en el sentido correspondiente.

1.2.8 Válvulas Tipo Diafragma

Son de operación automática, de 6" de diámetro con interiores de bronce. Son tres: una sirve para la entrada de agua cruda al reactor #1, y las otras dos están colocadas en el sistema de purga del reactor #2.

1.2.9 Válvulas Tipo Mariposa

Son de operación manual, de 6" de diámetro. Hay dos en el reactor #1 y siete en el reactor #2. Están ubicadas en el sistema de purga de cada reactor y sirven para dejar pasar los lodos hacia el drenaje en el momento de la purga de los mismos.

1.3 Tanques de materiales indirectos de producción

Son tanques que se utilizan para la preparación de los materiales indirectos de producción. La preparación consiste en disolver estos materiales para su posterior dosificación a los reactores.

1.3.1 Bombas para los materiales indirectos de producción

Son bombas que se utilizan para la dosificación de los materiales indirectos de producción a los reactores. Hay tres bombas de diafragma y tres bombas centrífugas que sirven para dosificar dichos materiales. Las bombas de diafragma operan a base de aire comprimido, para lo cual se abre la válvula de vástago de la bomba a utilizar. Respecto a las bombas centrífugas, éstas trabajan a altas revoluciones y deben de estar siempre en contacto con el líquido para poder operar.

1.4 Tanques Buffer

Son dos tanques cilíndricos horizontales que se utilizan como dispositivos de almacenamiento temporal del agua que proviene de los reactores, con el fin de obtener un flujo estable y completar cualquier reacción que se esté llevando a cabo. El agua entra a estos tanques por gravedad, por medio de tuberías y es transferida de éstos hacia los filtros de grava por medio de bombas centrífugas.

1.4.1 Bombas de Transferencia de tanques buffer a filtros

Son cuatro bombas centrífugas que se sirven para la transferencia del agua desde los tanques buffer hacia los filtros de grava. Se ponen a funcionar accionándolas desde el panel de control colocado junto al reactor #2 al presionar el botón para la bomba correspondiente. Estas bombas trabajan a altas revoluciones y deben estar siempre en contacto con el líquido para poder operar.

1.4.2 Válvulas Tipo Mariposa

El sistema de tubería de los tanques buffer cuenta con doce válvulas de este tipo, las cuales están colocadas dos en cada bomba: una para la entrada de agua a la bomba y otra para la salida de agua de la bomba hacia los filtros de grava. También hay dos por cada tanque buffer, una en la entrada y otra en la salida.

1.5 Filtros de Presión de Grava

Son doce tanques cilíndricos verticales. Todos los filtros constan de un agujero sobre su pared para el ingreso de personas a los mismos. Los filtros están agrupados en tres baterías de 4 filtros c/u (Batería No.1 = #1 al #4, Batería No.2 = #5 al #8, Batería No.3 = #9 al #12), se usa solamente una batería a la vez. Todos los filtros están constituidos por capas de grava, con la más gruesa al fondo, y una capa de arena sílica sobre el lecho de grava; el flujo del agua a través de los filtros durante la filtración es de arriba hacia abajo. El objetivo de utilizar filtros de grava es retener los sólidos y cualquier otra impureza que el agua proveniente de los tanques buffer pueda tener. Esta retención se da principalmente en la capa de arena sílica.

Los filtros se operan en dos etapas: Retrolavado y Servicio. Para mantenimiento temporal de los filtros se les hace un retrolavado, el cual consiste en pasarles agua de abajo hacia arriba. Después de retrolavar los filtros, se deja en reposo el filtro por 3 a 5 minutos para que se acomode la cama filtrante. Es muy importante que en el retrolavado haya flujo máximo, con el fin de eliminar completamente todas las partículas en suspensión, pues de lo contrario se acumula las partículas en suspensión o tierra en las camas de soporte y filtrante y con el tiempo cada vez es más difícil retrolavar eficientemente estos filtros. El reposo que se debe hacer después del retrolavado es sumamente importante, ya que si no se efectúa y se pone en servicio inmediatamente el filtro, puede tirarse al drenaje la cama filtrante y pueden mezclarse la cama soporte y la cama filtrante.

1.5.1 Coples

Cada filtro tiene dos coples: uno de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, para desfogar, ubicado en la parte superior del filtro, y uno de 2" de diámetro, para drenaje total del filtro, ubicado en la parte inferior del filtro.

1.5.2 Tubería de agua

Por todos los filtros pasan dos tuberías de acero inoxidable, una de entrada de agua y otra para la salida. Cada filtro tiene tubería de acero de 3" de diámetro por donde entra y sale el agua, ya sea cruda para retrolavado o de los tanques buffer para filtrar. La tubería de salida de agua filtrada consta en el fondo del filtro, por la parte interna del mismo, con tubos con agujeros, orientados hacia el fondo, con el fin de recolectar el agua filtrada; todos estos tubos salen de un tubo central de 3" de diámetro.

1.5.3 Válvulas Tipo Mariposa

Cada filtro cuenta con cuatro válvulas de este tipo. Son de operación manual y están atrapadas entre bridas de 3" de diámetro, de 150 libras de presión máxima. Sirven para dejar pasar o no el flujo de agua en cualquiera de las dos direcciones. Este tipo de válvula está abierta cuando la posición del brazo es paralela a la tubería, y está cerrada cuando la posición del brazo es perpendicular a la tubería.

1.6 Tanque para ácido

Es un tanque cilíndrico vertical, el cual sirve para dosificar ácido al agua que sale de los filtros de presión de grava, de tal forma que se obtenga el valor de pH requerido por las normas de calidad.

1.6.1 Bombas para ácido

Son tres bombas de diafragma, y sirven para dosificar ácido al agua filtrada; están ubicadas junto al tanque para ácido clorhídrico.

1.7 Tanque de almacenamiento de Agua Tratada

Es un tanque que sirve para almacenar el agua tratada que se envía de Tratamiento de Agua. La producción de agua tratada depende del nivel de este tanque, el cual se controla con un contrapeso ubicado sobre el tanque, y su respectiva escala en metros cúbicos.

B. MANUAL DE ARRANQUES Y PAROS

1. PROCEDIMIENTO PARA EL ARRANQUE:

El procedimiento que se lleva a cabo para arrancar el sistema de Agua Tratada es una secuencia de actividades que consiste en manejar los diferentes equipos en forma paralela.

1.1 Casa de Cocimientos

- 1.1.1 Abrir la válvula de la tubería de distribución de agua tratada.
- 1.1.2 Encender la bomba #4 ubicada en el sótano y abrir su manivela.
- 1.1.3 Verificar el nivel del agua del tanque de agua tratada.

1.2 Tratamiento de Agua

- 1.2.1 Abrir la válvula principal de suministro de agua cruda del tanque del salón de embotellado.
- 1.2.2 Abrir las válvulas de los dos tanques buffer.
- 1.2.3 Conectar el agitador del reactor que se va a utilizar.
- 1.2.4 Verificar el nivel de los tanques de los materiales indirectos de producción.
- 1.2.5 Conectar los dosificadores de los materiales indirectos de producción.
- 1.2.6 Abrir las válvulas de entrada y salida de agua tratada de los filtros de grava de la batería que se usará para la filtración.

- 1.2.7 Encender la bomba de transferencia de los tanques buffer hacia los filtros (se utilizan los 2 tanques buffer).
- 1.2.8 Abrir la válvula de la bomba de transferencia a usar.
- 1.2.9 Encender la bomba dosificadora de ácido.
- 1.2.10 Encender la válvula principal de entrada de agua al reactor a utilizar.
- 1.2.11 Encender la válvula de aire del Reactor que se utilizará.
- 1.2.12 Encender el sistema de agitación de los tanques de materiales Indirectos de producción.
- 1.2.13 Abrir la válvula de aire comprimido de la bomba dosificadora en uso.

2. PROCEDIMIENTO PARA EL PARO:

- 2.1 Cerrar la válvula principal de suministro de agua cruda del tanque del salón de embotellado.
- 2.2 Apagar la bomba dosificadora de ácido.
- 2.3 Apagar la bomba en uso de transferencia de los tanques buffer hacia los filtros.
- 2.4 Cerrar la válvula de la bomba de transferencia.
- 2.5 Cerrar las llaves de entrada y salida de los filtros de grava de la batería a usar.
- 2.6 Retrolavar los filtros.
- 2.7 Cerrar la válvula principal de entrada de agua cruda al reactor.
- 2.8 Cerrar la válvula de aire del reactor en uso.
- 2.9 Cerrar las válvulas para purga de lodos del reactor en uso.

- 2.10 Cerrar la llave de aire comprimido de la bomba dosificadora en uso.
- 2.11 Apagar las bombas dosificadoras de los materiales indirectos de producción.
- 2.12 Apagar el agitador del reactor en uso.
- 2.13 Tomar lectura de los contadores del reactor, nivel de ácido, e inventario de los materiales indirectos de producción.
- 2.14 Cerrar las válvulas de la tubería que va de los reactores hacia los tanques Buffer.
- 2.15 Dejar la tubería que va de los reactores hacia los tanques buffer con ácido y llenarla de agua.
- 2.16 Apagar la bomba ubicada en el sótano de Casa de Cocimientos y cerrar su manivela.
- 2.17 Cerrar la válvula de la tubería de distribución de agua tratada.

TABLA No.1: EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO (E.G.E.)

MES	EGE
1	76 %
2	74 %
3	78 %
4	81 %
5	84 %
6	87 %

Ver gráficamente en la sección de Anexos, página # 64.

TABLA No.2: INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA

MES	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN
1	0%
2	1%
3	3%
4	5%
5	7.5%
6	9 %

Ver gráficamente en la sección de Anexos, página # 62.

TABLA No. 3: FORMATO DE ANÁLISIS QUÍMICOS A REALIZAR EL AGUA A TRATAR.

HORA	ALCALINIDAD (ppm)	DUREZA DE CALCIO (ppm)	DUREZA TOTAL (ppm)	COLOR (ppm)	SÍLICE (ppm)	FOSFATOS (ppm)	pH	TURBIDEZ
1								
2								
3								
4								
5								
...								
...								
22								
23								
24								

➤ **RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE INTERRUMPEN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA PLANTA INDUSTRIAL DE REFRESCOS.**

CAUSAS:

- Falta de Electricidad
- Falta de Aire Comprimido
- Falta de Agua para Tratamiento
- No hay existencia de los productos que se dosifican para tratar el agua

VIII. DISCUSION

El actual sistema de control del proceso de Tratamiento de Agua presenta algunas deficiencias, entre las cuales está el hecho de que no se cuenta con un formato completo de análisis químicos del agua durante las diferentes etapas del proceso de producción, ya que, no existe el análisis de la concentración de sílice ni fosfatos presentes en el agua, así como de la turbidez que presenta el agua. El formato se amplió al agregar estos análisis, para así tener un control más completo y tener suficientes aspectos que se pueden tomar en cuenta al momento de cualquier desvío dentro de las normas de calidad.

Otra deficiencia en dicho sistema de control es que, debido a que no se contaba con los manuales de operación de los equipos utilizados para el Tratamiento de Agua ni el de arranques y paros del sistema, existen algunos aspectos en los que los operadores tienen deficiencias en dicha operación, por lo que impide poder operar un equipo al 100 % de sus condiciones, o por lo menos, lo más cercano al 100 %.

Debido a estos aspectos, se llevó a cabo un programa de capacitación para el personal del área, tanto operadores como ayudantes, con el fin de hacerles conciencia de la importancia que tiene el hecho de operar los equipos de la manera más adecuada, desde cómo abrir y/o cerrar una válvula adecuadamente, hasta en el orden en que se deben arrancar los equipos al momento de poner en marcha la planta, para así poder aumentar la producción de agua tratada, mejorar la calidad de la misma, y evitar cualquier daño en el equipo.

La capacitación consistió en hacer dos grupos de trabajo, uno de operadores y otro de ayudantes, ya que el nivel de conocimientos de la operación de los equipos de la planta es diferente; esta separación de grupos ayudó a avanzar con mayor facilidad en cada uno de los grupos, en lo referente a capacitación. En el caso del grupo de los operadores, se procedió a discutir los manuales, reforzándolos en los procedimientos donde se operaba inadecuadamente. Respecto del grupo de ayudantes, se les instruyó de tal

manera que, sean capaces de operar la planta por cualquier eventualidad que surja.

Para cerrar la capacitación del personal del área, cada uno de ellos, tanto operadores como ayudantes, arrancaron y pararon la planta de tratamiento de agua, donde se supervisó cada procedimiento que realizaban; esto se repitió hasta que el procedimiento de arranque y paro de la planta fuera el correcto.

Respecto de los manuales de operación, éstos se dividieron en cuatro grupos, los cuales son los siguientes:

1. El primer grupo consiste en lo que son los reactores en donde se trata el agua cruda que proviene de pozos. Este manual incluye todos los accesorios y maquinaria con que cuentan los mismos, es decir, tubería, válvulas, agitadores, electrodos, motores y reductores, y su respectivo panel de control para su operación.
2. En el segundo grupo se encuentran los sistemas de los diferentes materiales indirectos de producción que se utilizan en el tratamiento del agua, es decir, los materiales que no forman parte del producto final. Este manual también incluye los tanques en donde se preparan los materiales, las bombas que se utilizan para la dosificación de dichos materiales, así como la tubería y válvulas de estos sistemas.
3. En el tercer grupo están los tanques donde se almacena temporalmente el agua que se trata en los reactores, previo a ser filtrada. Estos tanques se denominan "tanques buffer". En este manual también se muestran las bombas que se utilizan para la transferencia del agua desde estos tanques hacia los filtros, la tubería y válvulas, así como los manómetros que se utilizan para controlar la presión del agua.
4. En el cuarto grupo se encuentra el sistema de filtración, el cual consiste en una batería de filtros de grava y arena sílica, en donde se retienen todos los sólidos que no interesan en el producto final. En este grupo de manuales también se incluye el sistema de inyección de ácido, el cual se utiliza para ajustar el pH del agua tratada, respecto de las normas de calidad requeridas.

Adicionalmente a los manuales de operación de los equipos del sistema de Tratamiento de Agua, se elaboraron dos manuales que son lo mismo de importantes para el control del proceso; estos son: el manual de arranques y el manual de paros del sistema. El de arranques incluye, como su nombre lo dice, la forma en que se debe arrancar el proceso de Tratamiento de Agua, es decir, el orden en que se tienen que arrancar los diferentes equipos para iniciar el proceso de producción de agua tratada; de manera similar se elaboró el manual de paros, el cual muestra el orden en que se deben parar los equipos al momento de cerrar la planta de producción de agua tratada.

Respecto de la Efectividad Global de los Equipos (E.G.E.), la tabla #1 (ver sección de Resultados, pag. No.49), muestra el incremento que se obtuvo en el E.G.E., luego de implementar el sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM). Esta efectividad fue aumentando debido a que, específicamente, ocurrió un incremento tanto en la disponibilidad del equipo, como en la velocidad del proceso y la calidad del mismo (ver tabla #4 en la sección de Anexos, pag. No.62). Estos incrementos se debieron a lo siguiente:

- **VELOCIDAD:** se logró regular el flujo de agua cruda que entra a los reactores, que llega hasta un 94% de la capacidad a la que están diseñados los reactores. Esta regulación permite tener un mejor control en las cantidades de los materiales indirectos de producción (coagulante y suavizador) que se dosifican a los reactores para tratar el agua.
- **DISPONIBILIDAD:** debido al mejor manejo del equipo, la disponibilidad del mismo aumentó, de un 90% a un 95%, ya que la cantidad de correcciones que se hacían al mismo disminuyó con el tiempo, lo que permite así un posible aumento en el tiempo de vida del equipo.
- **CALIDAD:** la calidad depende de la merma o pérdida de agua que se tenga durante el proceso, y está asociada indirectamente con la velocidad de producción, ya que, por el mismo control que se hace a dicha velocidad y a los productos indirectos de producción, la cantidad

de sólidos en la superficie del agua disminuye, lo cual implica que la cantidad de retrolavados de los filtros de grava y arena sílica también decrezca, por lo que el volumen de agua que se pierde por retrolavar los filtros es menor. La calidad aumentó un 4%, de 94 a 98%.

El aumento en el EGE permite tener una mayor producción de agua tratada para la producción de refrescos. El incremento de dicha producción, entre el primero y el sexto mes de trabajar con el sistema de TPM, fue de 9%.

Respecto del análisis de las causas que interrumpen el proceso de Tratamiento de Agua, se tienen cuatro aspectos muy importantes. Lógicamente, una causa que interrumpe el proceso es la falta de agua cruda, ya que es obvio que sin ésta no se tiene producción. La falta de energía eléctrica es otra causa de interrupción del proceso, porque sin ésta los motores de las bombas que se utilizan para el proceso no funcionan, así como tampoco los paneles de control, donde se abren o cierran las diferentes válvulas automáticas del sistema. Otro aspecto importante es la falta de aire comprimido, debido a que las válvulas automáticas (neumáticas) funcionan con base en el mismo. Por otro lado, debido a que para llevar a cabo el tratamiento del agua se utilizan materiales indirectos de producción, resulta imprescindible la existencia de estos materiales para la producción de agua tratada; estos materiales son un coagulante y un suavizador de agua.

La maquinaria y equipo que se utiliza para el proceso de producción no se tomó en cuenta para las causas que interrumpen el proceso ya que se cuenta, en el caso de las bombas, con 3 de cada tipo para poder utilizar otra si se arruina la que se tiene en uso. Respecto de los equipos, es decir, reactores, dosificadores, tanques buffer y filtros, se cuenta con más de uno para poder meterlos a servicio cuando es necesario darle mantenimiento al que se tiene en uso, o cuando se necesita hacerle alguna reparación.

IX. CONCLUSIONES

1. La implementación del programa completo de análisis químicos al agua de tratamiento permite tener mayor control al proceso de producción de agua tratada.
2. La elaboración de los manuales de operación y de arranque y paros del sistema de tratamiento de agua permite prolongar el tiempo de vida de los equipos y mejorar la calidad del agua tratada producida.
3. La implementación del sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM) permitió elevar la Efectividad Global de los Equipos (E.G.E.) de 76% a 87% en un período de 6 meses.
4. Se obtuvo un incremento de 9% en la producción de agua tratada durante el período de implementación del sistema TPM.
5. Con el análisis de las causas que interrumpen el proceso de producción de agua tratada se determinó que son cuatro los aspectos críticos: energía eléctrica, agua cruda, aire comprimido y los materiales indirectos de producción.

X. RECOMENDACIONES

1. Darle seguimiento al formato de análisis químicos al agua del proceso de Tratamiento de Agua, así como tomar en cuenta el hecho de agregar algún otro análisis que en el futuro sea necesario para el control del proceso. Esto podría surgir en el caso de que se sustituyera algún material de producción indirecto.
2. Actualizar los manuales de operación, y de arranques y paros del sistema, en el caso de que se realizara algún cambio en el equipo o en el proceso de producción, con el fin de manejar adecuadamente el equipo y así mantener un óptimo control del proceso.
3. Mejorar el control de los aspectos críticos que pueden interrumpir el proceso de producción de agua tratada, para evitar el paro innecesario de la planta.

XI. BIBLIOGRAFIA

1. KERRI, Kenneth. 1983. WATER TREATMENT PLANT OPERATION. Volume II. California Department of Health Services, Sanitary Engineering Branch. Foundation of California State University, Sacramento. 655 pp.
2. POWELL, Sheppard T. 1987. MANUAL DE AGUAS PARA USOS INDUSTRIALES. Cuatro volúmenes. Editorial Limusa, S.A. de C.V.
3. KUNZE, Wolfgang. 1996. TECHNOLOGY BREWING AND MALTING. Westkreuz-Druckerei Ahrens KG Berlin. 726 pp.
4. RAINBOW, C. 1983. BREWING SCIENCE & TECHNOLOGY. The Institute of Brewing. 272 pp.
5. PERRY, Robert; CHILTON, Cecil. 1986. BIBLIOTECA DEL INGENIERO QUÍMICO. McGraw Hill. 5ª. edición.
6. NAKAJIMA, SHIROSE, GOTO, MIYOSHI. Programa de Desarrollo del Mantenimiento Productivo Total. Implantación del MPT. Japón. 420 pp.

XII. ANEXOS

GLOSARIO

AGUA CRUDA Agua de pozo con una dureza de 180 – 210 ppm.

AGUA TRATADA Agua con dureza de 30 – 50 ppm, disminución provocada por el tratamiento del agua.

ALCALINIDAD Cantidad en mg/L (ppm) de sales disueltas (bicarbonatos, hidróxidos, cloruros y otras sales, principalmente de calcio, magnesio y sodio) en el agua, que trae como consecuencia efectos negativos de sabor y posteriores problemas de concentración.

BATERIA Término que se utiliza para indicar un conjunto de unidades de un mismo equipo.

CONDICIONES ÓPTIMAS Son aquellas que son esenciales para el funcionamiento y mantenimiento óptimo de las capacidades del equipo, lo cual es muy importante para el diseño o mejora del proceso.

DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO Sirve para agregar cal al reactor a un flujo constante.

DUREZA DEL AGUA Cantidad en mg/L (ppm) de sales disueltas que se refieren a bicarbonatos de calcio y magnesio, entre otros.

E.G.E. Es la efectividad global de los equipos, cuyo cálculo es la multiplicación de la disponibilidad del equipo (tasa operativa), la velocidad de producción (tasa de rendimiento) y la tasa de calidad.

MANTENIMIENTO AUTÓNOMO Es el mantenimiento del equipo realizado por los operadores del mismo.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO Es una inspección periódica para detectar condiciones de operación que puedan ocasionar averías, detención de la producción o pérdidas que perjudiquen la función, combinada con mantenimiento destinado a eliminar, controlar o remediar tales condiciones en sus fases iniciales.

PERDIDA DE VELOCIDAD Es la producción que se ha perdido por causa de la diferencia entre la velocidad de diseño de una máquina y su velocidad operativa real.

PPM (partes por millón) Es una forma de expresar la dureza del agua: mg/Lt (miligramos de sólidos por litro de solución).

RECURSOS DE ENTRADA Es la combinación de los trabajadores, la maquinaria y el material que se utilizan en la producción.

RECURSOS DE SALIDA Consiste en producción, calidad, costo, entrega, seguridad, higiene y entorno, y, moral y relaciones humanas.

RETROLAVADO Es realizar una limpieza con agua al equipo en dirección contraria a la de operación, y con un flujo mayor al de operación.

TANQUE BUFFER Son tanques que se utilizan para almacenamiento temporal del agua que sale de los reactores.

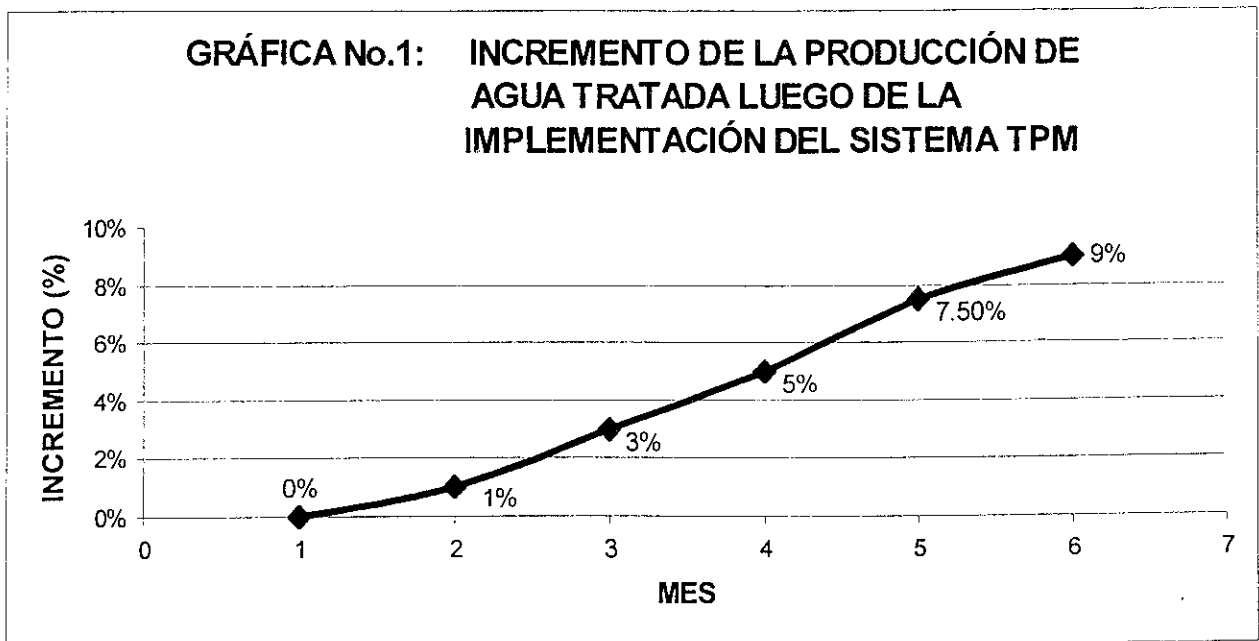
TIEMPO DE CARGA Se refiere a la disponibilidad neta del equipo durante un período dado, tal como un día o un mes.

TPM Es el Mantenimiento Productivo Total (TPM), definido a menudo como mantenimiento productivo realizado por todos los empleados, que se basa en el principio de que la mejora de equipos debe implicar a toda la organización, desde los operadores de la cadena hasta la alta dirección.

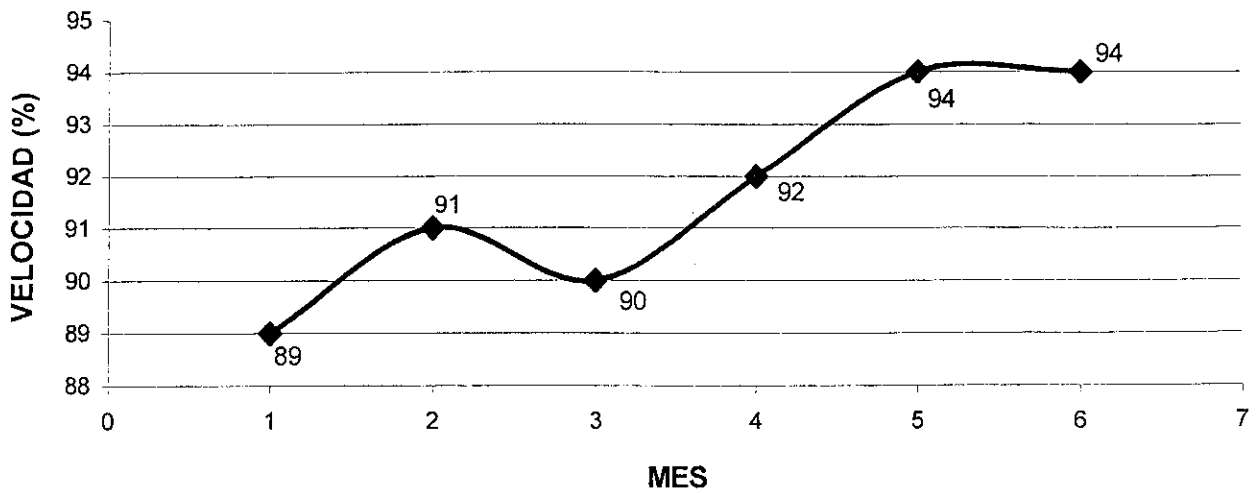
VÁLVULA Accesorio que permite, o no, el paso de líquido por una tubería.

TABLA No.4: COMPONENTES DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO (E.G.E.)

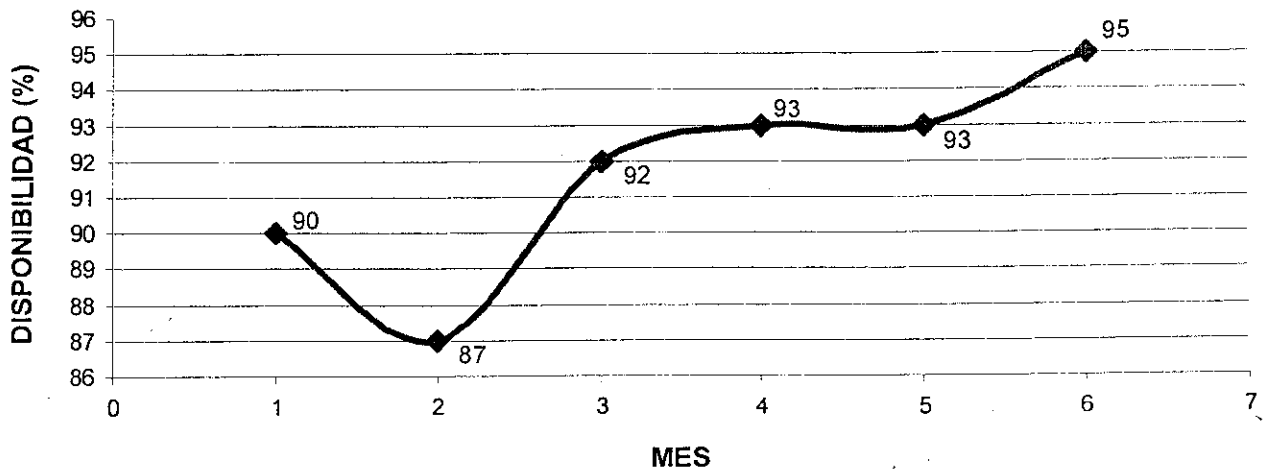
MES	VELOCIDAD	DISPONIBILIDAD	CALIDAD	EFICIENCIA
1	0.89	0.90	0.95	76 %
2	0.91	0.87	0.94	74 %
3	0.90	0.92	0.94	78 %
4	0.92	0.93	0.95	81 %
5	0.94	0.93	0.96	84 %
6	0.94	0.95	0.98	87 %



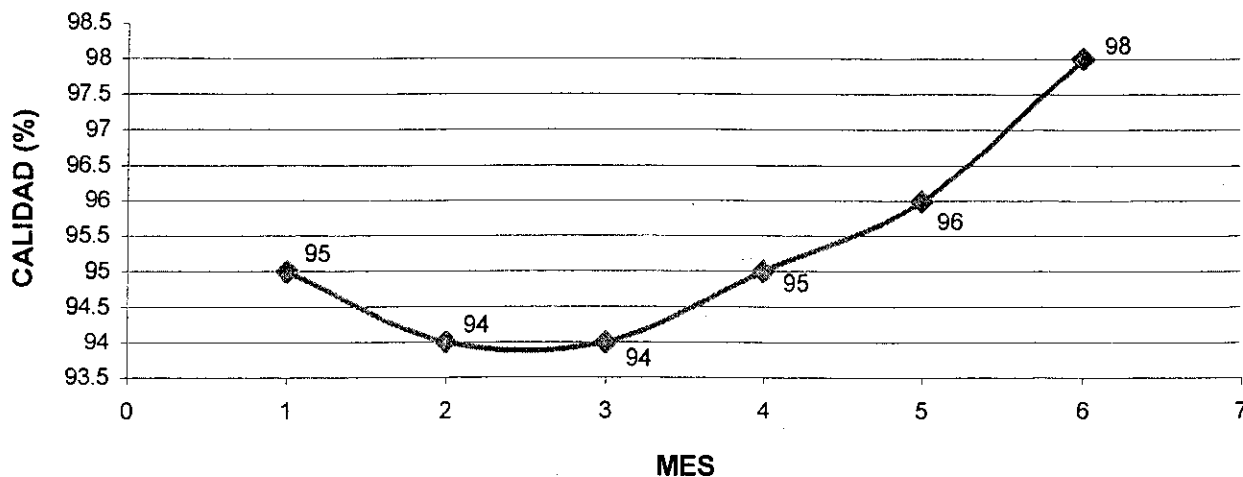
GRÁFICA No.2: VELOCIDAD EN EL E.G.E.



GRÁFICA No.3: DISPONIBILIDAD DE EQUIPO EN EL E.G.E.



GRÁFICA No.4: CALIDAD (MERMA) EN EL E.G.E.



GRÁFICA No.5: E.G.E. Y SUS COMPONENTES

