

TEORÍA DE RESTRICCIONES APLICADA A MANTENIMIENTO

JUAN BAUTISTA MENDOZA REYES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2.006

TEORÍA DE RESTRICCIONES APLICADA A MANTENIMIENTO

JUAN BAUTISTA MENDOZA REYES

**Monografía de Grado para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: JAIME MADIEDO CEPEDA
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2.006**

DEDICATORIA

A mi esposa y a mis hijos, de quienes he recibido comprensión y apoyo en esta etapa de estudio.

JUAN BAUTISTA MENDOZA REYES

CONTENIDO

	Pág	
INTRODUCCIÓN		7
1	TEORIA DE RESTRICCIONES	10
1.1	PRINCIPIOS DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES.	10
1.2	PASOS PARA SUPERAR LAS RESTRICCIONES.	11
1.3	ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES.	12
1.3.1	El throughput	13
1.3.2	El Inventario	14
1.3.3	Los gastos de operación	14
2	MANTENIMIENTO Y EL CICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS	15
2.1	ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE UNA PLANTA Y SUS EQUIPOS	15
2.1.1	Ingeniería Básica	16
2.1.2	Ingeniería de detalle	16
2.1.3	Construcción y montaje	17
2.1.4	Arranque de la planta	18
2.1.5	Operación de la planta	18
2.1.5.1	Mantenimiento preventivo	20
2.1.5.2	Mantenimiento correctivo	21
2.1.6	Fin de la vida útil	22
3	TEORÍA DE RESTRICCIÓN APLICADA A MANTENIMIENTO.	23
3.1	PASO 1: IDENTIFICAR LA RESTRICCIÓN DEL SISTEMA ANALIZADO.	23
3.2	PASO 2: EXPLOTAR LA RESTRICCIÓN ENCONTRADA EN EL SISTEMA.	28
3.3	PASO 3: SUBORDINAR TODO A LA RESTRICCIÓN ANTERIOR.	37
3.4	PASO 4: ELEVAR LA RESTRICCIÓN.	44
3.5	PASO 5:SI EN ALGUNO DE LOS PASOS ANTERIORES SE ROMPE LA RESTRICCIÓN VOLVER AL PASO 1.	47
4	LA TEORÍA DE RESTRICCIONES Y LOS ASPECTOS ECONÓMICOS DEL MANTENIMIENTO.	48
4.1	ÍNDICES FINANCIEROS DE TOC APLICADOS A MANTENIMIENTO.	48
4.2	LOS GASTOS DE MANTENIMIENTO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CONTABILIDAD DE COSTOS TRADICIONAL.	52
4.3	LOS GASTOS DE MANTENIMIENTO SEGÚN LA CONTABILIDAD DEL TRUPUT.	53

4.4	ESTRUCTURA DE GASTOS DE MANTENIMIENTO DE ACUERDO A TOC	57
4.5	ÍNDICES ECONÓMICOS PARA MEDIR LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.	59
5	CONCLUSIONES.	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas de la vida de un equipo.	15
Figura 2. Programa básico de Mantenimiento	20
Figura 3. Metodología TOC	23
Figura 4. Paso 1 TOC	24
Figura 5. Distribución de equipos de bombeo en un equipo de perforación	27
Figura 6. Paso 2 TOC	29
Figura 7. Causas para que un equipo sea cuello de botella	31
Figura 8. Labores para llevar el equipo a su máxima eficiencia	33
Figura 9. Paso 3 TOC	38
Figura 10. Pasos para programación de parada de planta	43
Figura 11. Paso 4 TOC	45

RESUMEN

TITULO: TEORIA DE RESTRICCIONES APLICADA A MANTENIMIENTO.

AUTOR: JUAN BAUTISTA MENDOZA REYES.

PALABRAS CLAVES: Teoría de restricciones, mantenimiento, índices de gestión de mantenimiento, vida útil, costos.

DESCRIPCIÓN. Mantenimiento siempre ha sido visto dentro de las finanzas de las empresas como un centro de costos a los cuales se les da un manejo contable, (gastos o capitalizaciones) mas de acuerdo con las necesidades fiscales que para medir su impacto en las utilidades de la Empresa.

Mantenimiento debe ser medido económicamente en su incidencia en los costos de la empresa, no solo en los gastos en que incurre directamente sino también en los gastos en que se incurre cuando debido a problemas en los equipos por fallas de mantenimiento se suspende la producción, baja la calidad de los productos, baja el ritmo de producción o se reciben multas por incumplimientos. Mantenimiento igualmente incide en la rentabilidad de la empresa pues tiene incidencia en el valor de los activos de la empresa, inventarios y equipos.

El gerente de mantenimiento debe tener presente siempre el impacto de su área en los resultados financieros para elaborar el modelo de mantenimiento que contribuya a ellos. Igualmente debe saber presentar a la alta gerencia sus proyectos de mejora de mantenimiento, evaluando los beneficios económicos que se lograrán con las inversiones que se solicitan.

Este trabajo pretende encontrar la forma de medir de una manera clara el impacto económico de mantenimiento en la rentabilidad de la empresa y buscar la manera de enfocar la labor de la gerencia de mantenimiento hacia el aumento de esa rentabilidad y la conservación del valor de la empresa. Para ello se estudia y analiza la Teoría de Restricciones y se busca su aplicación como herramienta de análisis a la gestión del Mantenimiento. En la monografía de busca la aplicación de esta teoría a cada una de las etapas de la vida de un activo. También se proponen unos índices tanto operativos como económicos para medir la gestión de área de Mantenimiento.¹

* Monografía.

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jaime Madiedo Cepeda, Ingeniero Electricista.

SUMMARY

TITLE: THEORY OF RESTRICTIONS APPLIED TO MAINTENANCE

AUTHOR: JUAN BAUTISTA MENDOZA REYES

KEY WORDS: Theory of restrictions, maintenance, maintenance management indicators, life utility, costs.

DESCRIPTION: Maintenance has always been seen as the main costs in the enterprises budget. In turn that has received an accountant management, for spending or capitalization so more can be accomplished by tax needs than to measure the utilities of the company.

Maintenance must be measured according to the costs of the company, not just in the spending. That has direct impact, in the ones that create when, because of it, the production stops, the quality diminishes, the production rhythm lowers or the breach in the duties generates penalties. All this diminishes the enterprise utilities.

Maintenance also affects the companies yield as it has influence in the value of the assets, inventory and equipment.

The maintenance manager always has to have a clear understanding of his area and the economic results. This way he will be able to elaborate on the maintenance model, so it can contribute to the development of the finances. He also has to know how to present his maintenance improvement projects to his other higher colleagues that will evaluate the economical benefits of the improvements he accomplished, thanks to the investment requested.

This paper reflects how to measure, in a clear way, the economical impact of maintenance in the yield of a company. Also we have to focus on the maintenance management towards the increase of this yield and to keep the company value up. To accomplish this purpose the restrictions theory is analyzed and studied in order to find its application as a tool in the analysis of the maintenance managing.²

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Jaime Madiedo Cepeda, Electrical Engineer.

INTRODUCCION

Todas las empresas manufactureras y algunas de servicios requieren de instalaciones y maquinaria para desarrollar sus procesos y entregar sus productos, ya sea un bien tangible o un servicio. Esas instalaciones y maquinaria son inversiones en dinero y además requieren de Mantenimiento ya que están sometidas a desgaste y deterioro por su uso y el paso del tiempo. Igualmente están sujetas a obsolescencia por el surgimiento de nuevas tecnologías o cambios en los procesos de producción o clase de productos de la Empresa en la que fueron instalados.

Si se observa una planta, ya sea una fábrica o una unidad prestadora de servicio, por ejemplo, un hotel o un puerto o un conjunto de maquinaria al servicio del desarrollo de una obra civil, se encuentra que la distribución de los equipos obedece a diferentes procesos para satisfacer unas metas de producción.

Las metas de producción son establecidas de acuerdo con las expectativas presentadas por el área de mercadeo cuya función es tratar de vender toda la posible producción de la planta. De igual manera es función del área de producción programar la planta para lograr la mayor rentabilidad, aprovechando al máximo los recursos instalados con que cuenta.

Lo ideal de una planta sería que esos procesos fluyeran sin ningún tropiezo, los equipos trabajaran de una manera continua y muy cerca de su máxima capacidad de producción, los consumos de energía fueran lo mínimo posible y los productos no presentaran desperfectos. Pero la realidad es que con frecuencia se presentan subutilización de equipos, resultan averías, se encuentran equipos sobre o sub-diseñados para la función que cumplen, la maquinaria instalada en la cadena de producción no tiene la misma capacidad para atender un determinado flujo de productos, no se cuenta con soporte de equipos de respaldo o un inventario lógico de partes en almacén o con personal capacitado, bien dirigido y con procedimientos claros para atender los equipos. Todo esto lleva a pérdidas de producción, productos sin la calidad esperada, aumento de inventarios de producto en proceso y de repuestos en almacén, deterioro y obsolescencia del equipo. Es decir, pérdida de ingresos, aumento de los gastos, disminución del valor del patrimonio, aumento de los activos necesarios para producir y crecimiento del almacén. En unas pocas palabras, disminución de la rentabilidad de la Empresa.

De ahí nace la necesidad de tener un departamento de Mantenimiento bien enfocado en su razón de ser y en sus objetivos. El área de Mantenimiento debe ser creada en una planta no sólo para reparar los equipos que sufren averías o

hacer unas actividades para prevenir averías. El área de Mantenimiento dentro de una empresa hace parte del sistema de producción y por tanto debe contribuir a los objetivos comunes de esta área, colaborando en:

- reducir los tiempos muertos de la planta.
- Incrementar la capacidad de producción.
- Lograr una producción con cero defectos.
- Optimizar el inventario de partes en bodega y de equipos reemplazo.
- Reducir los gastos de Producción.
- Conservar el valor de los Activos de la Empresa.

Por tanto, Mantenimiento debe entender el negocio que se está desarrollando en la Empresa y las rentabilidades de los diferentes productos. Debe conocer los procesos que se desarrollan en la planta y el papel de los equipos en cada uno de ellos y la capacidad y características que debe tener cada equipo de acuerdo al trabajo que tiene que ejecutar en la línea de producción.

Mantenimiento debe conocer, con la suficiente antelación, los programas de trabajo de Operaciones y los requerimientos de materiales y equipos necesarios, para poder contribuir con un buen alistamiento y luego con un buen mantenimiento de los equipos durante el desarrollo de los trabajos de producción.

Mantenimiento debe conocer también las cifras económicas de sus propios costos y de su incidencia en los resultados económicos de la empresa.

Así mismo Mantenimiento debe colaborar en el análisis y solución de los problemas que se presentan a Producción, aunque los equipos estén en perfectas condiciones operacionales. Cuando una planta, a pesar de tener sus flujos de producción establecidos correctamente, cuenta en la cadena de producción de uno de sus procesos con un máquina no adecuada o que presenta fallas frecuentes o pérdida de sus capacidad de producción, se forman colas o restricciones de producción frente a este equipo, afectando ese proceso de producción y los otros procesos que sean alimentados con el producto del proceso afectado.

Mantenimiento a la vez tiene sus propios procesos de trabajo, que se manejan por medio de órdenes de trabajo que van siendo evacuadas de acuerdo con los recursos con que se cuente y de acuerdo con la criticidad de la máquina que requiere el trabajo. En estos procesos de trabajo propios de las diversas labores del mantenimiento (mecánica, eléctrica, soldadura, instrumentación, civil, electrónica, pintura, fontanería), se presentan también represamiento de órdenes de trabajo, presentando **colas o restricciones del mantenimiento**.

La gerencia de Mantenimiento debe tener una estrategia clara para enfocar los recursos de su área en aquellas acciones que contribuyan a mantener los

procesos de producción libres de restricciones que afecten la producción y por tanto, las utilidades de la empresa.

También se debe tener en cuenta todos los aspectos económicos en que incide mantenimiento al desarrollar o dejar de ejecutar correctamente su labor. Con frecuencia se encuentra que la labor de mantenimiento es tenida como algo costoso pero no se cuantifica sus costos ni su incidencia en la producción y por tanto en los márgenes operacionales de la empresa. Se llevan índices técnicos de desempeño de los equipos y del desarrollo de la labor de mantenimiento pero rara vez se llevan índices económicos del desempeño del mantenimiento. Esto hace difícil soportar económicamente la sustitución de equipos y las inversiones en recursos para mantenimiento

La intención de esta monografía es analizar estas cosas que se presentan en producción y analizar el papel de Mantenimiento desde el punto de vista de la "Teoría de restricciones" para ayudar a evitar y, en caso de que se presenten, resolver los cuellos de botella y contribuir a aumentar las utilidades de la empresa. A la luz de esta teoría se analiza cómo trazar una estrategia de mantenimiento que permita una excelente disponibilidad y confiabilidad y a unos costos que permitan mejorar las utilidades y el retorno sobre la inversión

Para desarrollar esta monografía se estudió el papel de Mantenimiento en las etapas de la vida de los activos a luz de la Teoría de Restricciones. También se estudia los aspectos económicos en que incide mantenimiento y se analizan a la luz de la contabilidad de costos tradicional y de la contabilidad de costos basada en la Teoría de restricciones.

Con este estudio se busca aclarar las funciones y responsabilidades de Mantenimiento, simplificar el análisis de los resultados obtenidos, tanto técnicos como económicos y facilitar la toma de decisiones.

1. TEORIA DE RESTRICCIONES

1.1 PRINCIPIOS DE LA TEORIA DE RESTRICCIONES

La teoría de restricciones fue planteada por el físico israelí Elí Goldratt a principios de los años 80 y ha sido aplicada básicamente en el área de producción, de administración de proyectos, cadena de suministros, toma de decisiones, marketing y ventas, gestión estratégica y recursos humanos. En este trabajo se pretende mirar algunos aspectos del Mantenimiento desde la visión de esta teoría.

La teoría está basada en el análisis lógico de los acontecimientos de un proceso constituido por una cadena de pasos como es un proceso de producción e igualmente un proceso de mantenimiento. La Teoría expresa que el proceso se mueve a la velocidad del paso más lento. Este paso más lento es lo que constituye un “cuello de botella”. La forma de mejorar el proceso es hacer que ese paso mas lento trabaje al máximo de su capacidad y, si continúa el cuello de botella, ampliar la capacidad del paso que restringe el proceso. En el planteamiento de la teoría, Eli Goldratt denomina “cuello de botella” a esos pasos que restringen el flujo del proceso. La restricción puede ser un trabajador, un equipo, una política, la ausencia de alguna herramienta o un procedimiento errado.

La Teoría de restricciones (TOC-Theory of Constraints)³ menciona que en toda empresa hay por lo menos una restricción, pues de otra manera generaría ganancias ilimitadas. De acuerdo con este pensamiento la actividad gerencial se debe enfocar en las restricciones, adelantando entonces, una gestión de mejoramiento continuo. TOC se basa en las siguientes ideas:

- La meta de cualquier empresa con fines de lucro es ganar dinero de forma sostenida, satisfaciendo las necesidades de los clientes, empleados y accionistas. Si no mejora sus utilidades es porque algo se lo está impidiendo: sus restricciones.
- En toda empresa existen unas pocas restricciones que le impiden ganar más dinero.
- Las mejoras locales no siempre conducen al mejoramiento global del desempeño de la empresa, por tanto se deben desechar los índices locales de desempeño y concentrarse en unos pocos índices globales del desempeño de la organización que midan su acercamiento a la meta propuesta.

³ GOLDRATT, Eliyahu. La Meta. Ediciones Regiomontanas, 2 ed.

- La mayoría de las veces las restricciones existen no por falta de dinero o de otros recursos sino por un mal empleo de ellos.

TOC identifica 2 tipos de restricciones:

- Restricciones físicas
- Restricciones políticas.

La meta de todas las empresas es ganar DINERO!⁴ Si se quiere lograr una mejora en el desempeño de la empresa y por tanto acercarnos a la meta, es necesario identificar la **restricción** y actuar sobre ella. Es posible que al eliminar una restricción, surja otra en otro sitio u otro equipo del proceso y entonces hay que actuar en ese nuevo sitio.

En el desarrollo de la labor de Mantenimiento en una planta seguramente se van a identificar restricciones tanto físicas como políticas y hay que actuar sobre cada una de ellas, siguiendo un orden de acuerdo a su importancia en el momento determinado.

Para romper las restricciones físicas TOC hace la siguiente propuesta:

- Cada proceso dentro de una empresa es una cadena de eventos en pasos sucesivos y dependientes lo que implica que para ejecutarse un paso deben haberse ejecutado los anteriores. Los equipos e instalaciones hacen parte de esta cadena de producción en que se desarrollan las cadenas de eventos y por tanto sus limitaciones y sus fallas hacen parte de las restricciones físicas de los procesos de producción.

1.2 PASOS PARA SUPERAR LAS RESTRICCIONES

Para superar estas restricciones físicas, la Teoría de Restricciones propone un ciclo de cinco pasos:

1. Identificar la restricción.
2. Decidir como explotarla.
3. Subordinar todo lo demás a esa decisión.
4. Elevar la restricción.
5. Si se ha roto la restricción en alguna de las etapas anteriores, volver al primer paso.

Una breve descripción de cada uno de los pasos, es la siguiente:

⁴ GOLDRATT, Eliyahu. La Meta. Ediciones Regiomontanas, 2 ed. Pag 50

Paso 1: identificar la restricción del sistema analizado. Una restricción es algo que condiciona el desarrollo del proceso que se da en el sistema y limita sus resultados. Se debe identificar el eslabón más débil de la cadena. Pueden haber distinto tipo de restricciones, siendo las más comunes, las de tipo físico: maquinarias, materia prima, mano de obra etc. O las de tipo político como procedimientos, procesos o criterios de decisión erróneos.

Paso 2: explotar la restricción identificada en el sistema. Una vez identificado el eslabón más débil, se debe tratar de aprovechar al máximo la capacidad restringida que tiene. Cualquier minuto perdido en ese paso, es tiempo perdido en la producción de todo el sistema. Este paso consiste en buscar la forma de obtener la mayor producción posible de la restricción ya sea llevando el equipo a su máxima capacidad de producción, mejorando el equipo, aumentando los turnos de trabajo o capacitando al personal en operación y mantenimiento del equipo causante de la restricción.

Paso 3: subordinar todo a la restricción anterior. Todo el sistema debe funcionar de acuerdo a las decisiones tomadas para hacer que la restricción sea explotada al máximo. Es decir, luego de que se detecta el cuello de botella y se hacen los arreglos necesarios para que en ese punto se logre la mayor productividad posible, el resto de la cadena de producción debe programarse para que marche a la velocidad de ese paso, evitando excesos de materia prima en proceso, equipos funcionando en vacío y excesos de consumos de energía y mano de obra en los demás equipos implicados en el proceso. Pero también se debe programar el proceso de manera tal que se garantice que el equipo que ocasiona la restricción no se pare. Entonces, toda la programación de producción y de Mantenimiento debe darse para que esto ocurra.

Paso 4: elevar la restricción. Este paso implica elaborar y ejecutar un programa para mejorar el nivel de producción en el punto que se presenta la restricción. Se trata de invertir en otros recursos para eliminar la restricción en ese punto, como tercerizar ciertas labores, aumento de equipos o cambio de equipos.

Paso 5: si en alguna de las etapas anteriores se rompe la restricción, volver al paso 1. Este paso consiste en identificar la nueva restricción que se manifieste y continuar con el trabajo de mejoramiento continuo. No se puede caer en la falla de pensar que una vez mejorada una restricción no surjan otras y por tanto es muy importante estar atentos a identificarlas.

1.3 ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

TOC analiza el desempeño de la Empresa en su totalidad y no sólo desde el punto de vista de una producción eficiente. Por eso, el otro concepto clave de TOC es que **las organizaciones con ánimo de lucro se hicieron para ganar dinero**. Esto parece una redundancia pero a menudo no está claro para cada una de las personas que componen la organización y no se mira el desempeño de cada una de las áreas que componen la empresa en su contribución a este objetivo principal. Todas las partes de la organización deben contribuir a este objetivo global y la incidencia de Mantenimiento es grande en este aspecto. En la gran mayoría de las empresas el desempeño de Mantenimiento afecta la facturación. Si no hay equipos disponibles para la producción o si su eficiencia es mala, bajan los posibles ingresos. Si el mantenimiento es demasiado frecuente e ineficiente se incrementan los costos y pueden llegar a ser muy altos y no lograr las metas propuestas.

Como la meta global de la empresa es producir dinero, debemos tener indicadores que nos permitan medir el aporte de cualquier área de la empresa al cumplimiento de esta meta. Estos indicadores son lógicamente financieros y deben mostrar si la labor del área medida va en la dirección correcta.

Para analizar el desempeño económico de una empresa, Eli Goldratt, autor de la Teoría de restricciones, propone algunos índices prácticos que presentan las cifras de resultados de una manera diferente que hace más fácil la medición del desempeño económico de la Organización:

Throughput (T):⁵ o Truput. Es la velocidad a la que el sistema genera dinero a través de las ventas de productos o servicios.

Inventario (I): Todo el dinero invertido en el sistema para generar Throughput, incluido instalaciones y equipos.

Gastos de operación (GO): Todo el dinero que el sistema tiene que gastar para generar Throughput, incluidos los gastos del Mantenimiento de instalaciones y equipos.

Para un mejor entendimiento de estos índices, se amplia un poco más la descripción de cada uno de los conceptos:

1.3.1. **El throughput** es dinero fresco que ingresa a la empresa por medio de facturación de la venta de los productos. El throughput es el dinero que

⁵ GOLDRATT, Eliyahu. La Meta. Ediciones Regiomontanas, 2 ed. Capítulo 6.

entra a la empresa menos el dinero pagado a los proveedores. Se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$T = P - CTV$$

T=truput por unidad de producto

P=precio por unidad de producto

CTV= costo totalmente variable. Valor que varía con cada incremento en la venta del producto (en la mayoría de los casos solo es la materia prima)

- 1.3.2 **El inventario** comprende materia prima, producto en proceso y producto terminado y todos los demás haberes de la empresa como sus instalaciones, muebles, vehículos y maquinaria. Es decir, toda la **inversión** que hace la empresa para poder entregar su producto final. Esta definición, como veremos mas adelante, es de gran importancia para conocer mejor el papel de Mantenimiento en la meta principal de la empresa, producir dinero.
- 1.3.3 **Los gastos de operación** es el dinero que hay que invertir para convertir los inventarios en truput, es todo el dinero que hay que gastar, diferente a la materia prima, para mantener la planta produciendo. No se distingue entre gastos directos o indirectos, fijos o variables. Incluye toda la mano de obra desde el gerente hasta los operadores, arrendamientos, energía, servicios etc. En estos gastos de operación están incluidos los gastos del Mantenimiento.

Con base en estos 3 valores podemos medir los indicadores financieros tradicionales como las Utilidades Netas y el Retorno sobre la Inversión.

Utilidad Neta (UN) = T-GO

Rendimiento de la Inversión (RDI) = (T-GO)/ I

Estos indicadores permiten visualizar el impacto de cualquier decisión en los resultados de la empresa. La meta final de la Empresa es lograr el mejor RDI posible y eso se logra:

- aumentando el Truput (T)
- disminuyendo los Inventarios (I) y
- disminuyendo los Costos Operacionales (GO).

Todas las áreas de la empresa deben medir el impacto de sus decisiones en estas 3 cifras para verificar si el resultado final es un incremento en el RDI de la Empresa.

2. MANTENIMIENTO Y EL CICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS

3.

Mantenimiento debe estar presente en todas las etapas de la vida de las máquinas que componen la planta. Todos los análisis que se hagan deben involucrar no solo los aspectos de producción y los aspectos técnicos de mantenimiento sino también la contribución de las decisiones que se tomen al mejoramiento de los índices financieros: margen operacional (T), inventario (I), costos operativos (GO) y retorno sobre la inversión (RDI).

2.1 ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE UNA PLANTA Y SUS EQUIPOS

Una planta industrial surge de la necesidad de fabricar productos o servicios para una demanda determinada y de acuerdo con la materia prima disponible, del dinero con que se cuenta o con el nicho de mercado que se pretende abarcar.

Desde que se concibe la idea de la planta hasta que se hace realidad, entra en producción hasta quedar obsoleta, se pasa por una serie de etapas, que de una manera resumida son enunciadas en la figura 1

Figura 1. Etapas de la vida de un equipo.

INGENIERIA BÁSICA	INGENIERIA DE DETALLE	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	ARRANQUE	OPERACION
<ul style="list-style-type: none"> -Definición del esquema operacional de la planta. -Balance de materia y energía. -Especific. de proceso, de equipo, tuberías, instrument -Elaboración diagramas y documentos , base para la ingeniería de detalle 	<ul style="list-style-type: none"> -Especificac técnicas para compra. -Planos para construcción -Incluye las especificaciones <ul style="list-style-type: none"> -instrum. -eléctrico. -civil -tubería. -mecánica -materiales -Definición de la estrategia de mantto. 	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación del terreno. -Bases civiles. -Estructuras en concreto y acero. -Vías. -Edificios. -Montaje de equipos y líneas. -Elaboración de programa detallado de mantenimiento y montaje del CMMS 	<ul style="list-style-type: none"> -Alineamiento de equipos. -Puesta a punto de instrumentos. -pruebas hidrostáticas. -Arranque. -Corrida de pruebas. Verificación de condiciones operacionales de los equipos y corrida de líneas de producción 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de los equipos y facilidades existentes para convertir la materia prima en productos deseados. -Seguimiento al desempeño de los equipos, disponibilidad, confiabilidad y manteneabilidad. - Seguimiento a los costos del mantenimiento, a resultados económicos y operacionales

Mantenimiento debe estar atento no solo a colaborar en la resolución de los problemas que se presenten durante la operación de la planta, sino también debe trabajar para prevenirlos. Es por esto que Mantenimiento debe estar presente desde el diseño de la planta, la selección y compra de equipos, seguir presente en su montaje, pruebas de funcionamiento, puesta en operación y continuar luego con su mantenimiento durante la operación y control de su ciclo de vida hasta llegar a su dada de baja para terminar con su vida útil.

2.1.1 Ingeniería Básica. Como se puede apreciar en la tabla 1, la construcción de una planta y los equipos necesarios, se inicia con la definición de las funciones que va a cumplir la planta, los productos que se esperan y la materia prima a procesar.

Aunque parezca algo elemental, vale la pena decir que el diseño de la planta o la selección de los equipos deben partir de un plan maestro de producción en donde

se estipulen los trabajos a realizar en cada una de las etapas del proceso, la cantidad de producto esperada y tipo de equipos que participan en el proceso.

De allí nace un esquema operacional de la planta en donde se determinan los equipos, el flujo de los procesos y las condiciones operacionales en cada una de las etapas del proceso. En esta etapa también se definen las líneas eléctricas, tuberías, equipos auxiliares e instalaciones.

Luego de tener concebida la planta, se hacen diferentes simulaciones para de acuerdo a las características de la materia prima, los procesos establecidos y las diferentes condiciones operacionales que se establezcan, poder determinar los productos a obtener, la materia prima utilizada y la energía consumida. De acuerdo con los resultados obtenidos se definen entonces las condiciones y características de los equipos a fabricar o seleccionar, las condiciones operacionales y se elaboran los diagramas y documentos básicos para pasar luego a elaborar la ingeniería de detalle.

Seguramente, durante la etapa de producción pueden variar los requerimientos de la planta por tanto debe preverse la posibilidad de la ampliación o reducción de las líneas de producción y dejar la posibilidad de hacer los cambios requeridos sin que ocurran traumas operativos. Este principio aplica también para la selección del equipo que se requiere para ejecutar una obra de ingeniería, teniendo en cuenta las diferentes tareas necesarias para lograr el objetivo.

2.1.2 Ingeniería de Detalle. Teniendo en cuenta la información suministrada por la ingeniería básica, se pasa a detallar los diferentes equipos con el ánimo de cotizar su compra o fabricación.

Se debe hacer también la distribución física de la planta, en donde se incluyan las líneas de producción, los servicios auxiliares y los servicios administrativos.

En el diseño del espacio físico de la planta debe estar presente Mantenimiento para definir los espacios de acceso requeridos posteriormente para intervenir las máquinas, portones de acceso y las facilidades necesarias para efectuar un mantenimiento rápido como puente-grúas o drenajes.

Esta consideración de espacio y equipos auxiliares de maniobra, debe también tenerse en cuenta para la instalación o cambio de herramientas durante el proceso de producción. Las conexiones de los equipos y de las herramientas que portan, deben dejarse instaladas de manera tal que el cambio de herramientas o el cargue de materia prima sea fácil y se pueda hacer con prontitud.

En esta etapa se hacen los ensayos necesarios de suelos y agua entre otros, para determinar los detalles de los planos de construcción. Estos planos deben incluir

las especificaciones para las obras civiles, mecánicas, eléctricas y de instrumentación con el listado detallado de los materiales necesarios para ejecutar la obra.

En esta etapa del proceso, una vez determinados los equipos y sus características, y definidas las condiciones operacionales y detalles de los procesos, debe concebirse la **estrategia de mantenimiento**. Debe analizarse el papel de los equipos en el proceso y una vez determinada su criticidad, entrar a definir el tipo de mantenimiento que se les va a brindar a cada uno de ellos. Es también importante en esta etapa, hacer el análisis del “modo de falla” de los equipos que se definan como críticos con el fin de prevenir posibles paradas o, en caso de que se presenten, tener analizado las medidas correctivas a tomar y determinar los recursos necesarios.

Una vez definido el tipo de mantenimiento a brindar a cada equipo y su frecuencia debe analizarse cada uno de los recursos que se requieren como personal y sus características, materiales a mantener en stock, herramientas y condiciones de taller y bodegas. Durante esta etapa, debe también elaborarse los manuales de mantenimiento y los procedimientos para los trabajos especiales, sobretodo los que se prevé que hay que realizar luego en los equipos críticos.

Mantenimiento debe estar pendiente de que los equipos seleccionados y en compra, cumplan con las especificaciones. Debe estar también presente en las pruebas que se ejecuten en las plantas de los fabricantes.

2.1.3 Construcción y Montaje. El siguiente paso es la construcción de las instalaciones físicas y el montaje de los equipos. Esta etapa se inicia con la construcción de vías de acceso y la adecuación del terreno. Posteriormente con la cimentación y construcción de los edificios y finalmente con el montaje de los equipos y la interconexión entre ellos por medio de tuberías o líneas de transporte.

Durante esta etapa, el departamento de Mantenimiento debe avanzar en la **elaboración detallada del programa de mantenimiento y en el montaje del CMMS**. Es en este proceso que se define todos los campos del sistema con respecto a la criticidad de cada equipo, modo de falla, familia y grupo al que pertenece, sistema en que está ubicado. Debe introducirse en el sistema toda la información de los equipos, el plan de mantenimiento diseñado para cada uno de ellos, los materiales y recursos requeridos y los procedimientos a utilizar. Debe seleccionarse un equipo o línea de producción para posteriormente correr un piloto. Deben diseñarse todos los formatos a utilizar y de igual manera los reportes que se van a emitir de acuerdo al nivel y cargo a que va dirigido. Los reportes deben ser lo suficientemente claros y concisos para que sea fácil tomar decisiones.

También, durante esta etapa, debe iniciarse la capacitación de los técnicos, supervisores y directores que va a requerir el mantenimiento. Y hacer la consecución de materiales y herramientas necesarios para dar un buen mantenimiento.

2.1.4 Arranque de la Planta. Una vez se va terminando el montaje de las líneas de producción, debe iniciarse la prueba de los diferentes equipos. Antes de cualquier prueba, se requiere verificar alineamientos, aprietes, conexiones, sentidos de giro, funcionamiento de los instrumentos de control y de los dispositivos de seguridad. Si se requiere, deben hacerse pruebas hidrostáticas, neumáticas y de carga. Una vez hecha estas verificaciones, se inicia el arranque en vacío para verificar las condiciones operacionales y detectar que no se presenten ruidos anormales, recalentamientos, desajustes o desalineamientos.

Cuando se inicia el arranque de la planta con carga, Mantenimiento debe hacerse seguimiento a los parámetros operacionales y a la calidad y cantidad de los productos que resultan de los procesos de la planta. Si es del caso y las condiciones lo ameritan, deben hacerse ajustes a la operación de los equipos o rediseños de algunos elementos para mejorar la eficiencia de la planta.

2.1.5 Operación de la Planta. Una vez verificado el funcionamiento de la planta y de todos los equipos y líneas que la componen, se inicia el proceso de producción.

En esta etapa se operan todas las líneas de producción a la carga requerida por mercadeo.

Mantenimiento debe ser organizado para garantizar la disponibilidad de la planta, en las condiciones requeridas, y lograr la mayor producción posible, dentro de los estándares de calidad y a unos costos que permitan obtener un buen retorno sobre la inversión. Esto implica que la planta opere de una manera eficiente, que las paradas de planta, aun para mantenimiento preventivo, sean mínimas; que en caso de paradas se tenga previsto cómo atenderlas de una manera rápida y técnicamente correcta; que la inversión en equipos instalados sea solo la indispensable y que los repuestos en almacén sean los necesarios para impedir que se pare la operación.

La labor de mantenimiento se debe desarrollar de acuerdo a lo planeado. Mantenimiento debe llevar control sobre el desempeño de los equipos, el desempeño de su área y los costos de labor. Los índices que se tengan deben ser concisos y obtenerse de una manera oportuna.

Durante esta etapa de operación debe hacerse un seguimiento continuo al desempeño de la planta en general y de los equipos críticos en particular. Debe

hacerse los ajustes que sean del caso a medida que la planta va envejeciendo para impedir que caiga su desempeño.

Es posible que durante la vida útil de la planta, se requiera hacer modificaciones, reducciones o ampliaciones de la planta. En este análisis deben estar involucrados tanto el personal de Operaciones como el personal de Mantenimiento. En todos los estudios de conformación o de modificación de una línea de producción de una planta, deben estar involucrados el personal de Mantenimiento y Operaciones, con el soporte del área de análisis financiero. Este trabajo debe ser en equipo, lo que implica que:

- Mantenimiento debe conocer todo el proceso que se ejecuta en cada una de las líneas de producción y conocer cuales son los requerimientos totales de la planta, de las líneas de producción y de cada una de las máquinas de la planta.
- Mantenimiento debe conocer los planes de producción para un periodo determinado.
- A la vez Operaciones debe conocer las características de los equipos y sus principios de funcionamiento. Con este mutuo conocimiento del trabajo de cada área, se logra que los equipos sean seleccionados de una manera correcta y luego sean operados dentro de sus especificaciones.

Mantenimiento y Operaciones deben conocer los costos del proyecto y la rentabilidad esperada para hacer los ajustes técnicos que sean necesarios, sin sacrificar la calidad y la seguridad del personal y la planta.

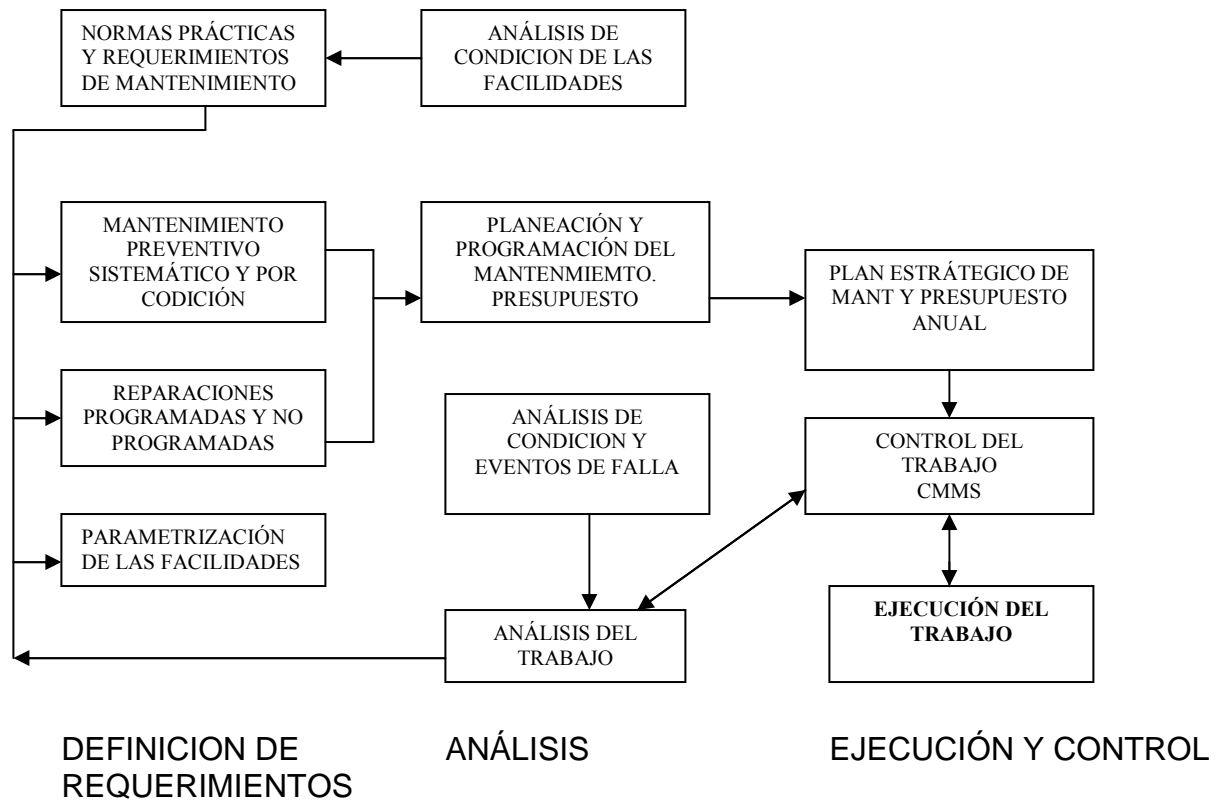
Una estrategia de Mantenimiento adecuada para una planta de producción, comprende:

- Un programa de mantenimiento preventivo (incluido el predictivo)
- Un programa de mantenimiento correctivo.
- Un sistema de información para la administración del mantenimiento.

En la figura 2 se tiene un esquema de la interconexión entre los diferentes aspectos del mantenimiento de una planta en producción.

La estrategia de mantenimiento se diseña de acuerdo a las condiciones de las facilidades, a las condiciones de trabajo a que van a ser sometidas y a las normas de la industria y las recomendaciones de los fabricantes.

Figura 2. Programa básico de Mantenimiento.



Luego de definidos los requerimientos, se define el tipo de mantenimiento para cada equipo y la forma como se va a llevar la planeación programación, análisis de resultados y el control de la ejecución del mantenimiento ejecutado. Los diferentes tipos de mantenimiento se describen en los párrafos siguientes.

2.1.5.1 Mantenimiento Preventivo. La estrategia de mantenimiento preventivo, dependiendo de la criticidad del equipo que es determinada por su incidencia en la operación, puede tener una mayor o menor intensidad. Para aquellos equipos que se determinan son críticos y su parada incide fuertemente en la producción o su falla puede causar daños a las personas o el ambiente, se diseña un programa de mantenimiento predictivo. La ejecución y contenido de este mantenimiento preventivo depende de la condición del equipo en un momento dado y es determinada entre otros, por medio de toma de vibraciones, temperaturas o análisis de aceite para detectar condiciones anormales o desgastes acelerados.

Debe existir un programa de lubricación adecuado para cada uno de los equipos. Debe estar identificado sobre la máquina el tipo de lubricante a aplicar en cada punto y debe ser claro para todo el personal los niveles mínimos y máximos de los aceites y los períodos para aplicar grasas o cambio de aceites. Para aquellos

equipos que son críticos o que la cantidad de aceite es grande debe hacerse análisis de aceite para conocer la condición del aceite y evitar paradas innecesarias o pérdida de dinero en lubricantes.

Los equipos deben ser revisados periódicamente por parte de los operadores y del personal de mantenimiento. Los instrumentos de medición de parámetros como temperatura, presiones, revoluciones por minuto, caudales o cargas eléctricas deben estar siempre en buen estado y los operadores deben conocer los rangos en que cada uno de los equipos debe operar. El operador es el primer inspector de su equipo y debe tener el criterio para saber cuándo su equipo tiene problemas y avisar a Mantenimiento o, si es el caso, parar la máquina.

Mantenimiento debe tener establecidas rutinas para comprobar el estado físico del equipo y sus condiciones de funcionamiento. En estas inspecciones debe participar conjuntamente el personal de operación y el de mantenimiento

Debe haber también un programa de pruebas de funcionamiento de cada equipo y de la línea de producción de acuerdo a los parámetros establecidos por los fabricantes y las normas de cada industria. Para las estructuras y equipos y herramientas de levante de carga debe establecerse un programa de inspección con métodos no destructivos como radiografías o tintas penetrantes.

Otra forma de análisis del estado de los equipos es verificación de la cantidad de energía consumida, eléctrica o combustible, para una cantidad de carga en un tiempo de trabajo dado. Un exceso de energía nos puede indicar un mal estado de los componentes del equipo o del mismo sistema de suministro de energía.

Debe haber una forma de dejar un registro de las anomalías encontradas para que Mantenimiento programe la atención de esos equipos con no conformidades.

2.1.5.2 Mantenimiento correctivo. A pesar de la existencia de un buen programa de mantenimiento preventivo, pueden presentarse fallas imprevistas en los equipos debido al mismo uso o a fallas de otra naturaleza como problemas de diseño, mala operación o problemas con la energía utilizada. Puede darse el caso de que existan equipos cuyo valor o importancia no ameriten un programa riguroso de mantenimiento preventivo y sea más práctico retirarlos y reemplazarlos cuando se dañen.

Para una buena y oportuna reparación de los equipos es clave:

- Planeación al detalle de cada una de las tareas.

- Programación oportuna de las reparaciones.
- Contar con personal que tenga los conocimientos y habilidades requeridos
- Contar con manuales de información sobre procedimientos de reparación.
- Contar oportunamente con los repuestos y herramientas necesarios.
- Contar con el sitio adecuado para hacer la reparación.

2.1. 6 Fin de la Vida Útil.

La planta en general y cada máquina en particular, tiene un ciclo de vida al final del cual debe ser dada de baja y reemplazada por otra. El final de esa vida útil está determinado por los costos en que se incurre para mantener trabajando la máquina y la facturación que genera versus los costos y facturación de otra máquina que la pueda reemplazar. Por tanto la máquina puede ser dada de baja no solo por sus continuas paradas y sus costos de mantenimiento sino también, a pesar de que esté funcionando, por sus costos de operación y mantenimiento comparados con los costos de una máquina mas eficiente.

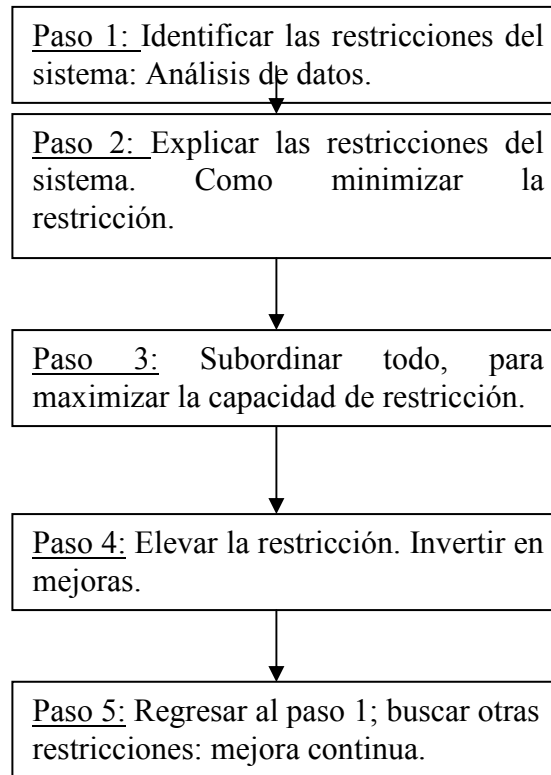
Estos análisis de vida útil deben ser realizados por Mantenimiento, ya que continuamente se presenta nuevas tecnologías que producen ahorros en los costos de producción. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no siempre mejores tecnologías mejoran el proceso porque también depende del nivel de ocupación del equipo en su línea de producción. Estos análisis deben ser hechos en equipos críticos para la operación o en equipos que presentan continuos problemas.

3. TEORÍA DE RESTRICCIONES APLICADA AL MANTENIMIENTO.

En este capítulo se propone la utilización de la “Teoría de Restricciones” (TOC) en la administración del mantenimiento de una planta industrial. Esta teoría es utilizable en todas las etapas de la vida de la planta. El análisis se hará siguiendo los pasos de la metodología TOC y buscando aplicaciones a los “cuellos de botella” en que tiene ingerencia el mantenimiento.

En la figura 3 se encuentran los pasos propuestos por la Teoría de restricciones.

Figura 3. Metodología TOC.



3.1 PASO 1: IDENTIFICAR LA RESTRICCIÓN DEL SISTEMA ANALIZADO

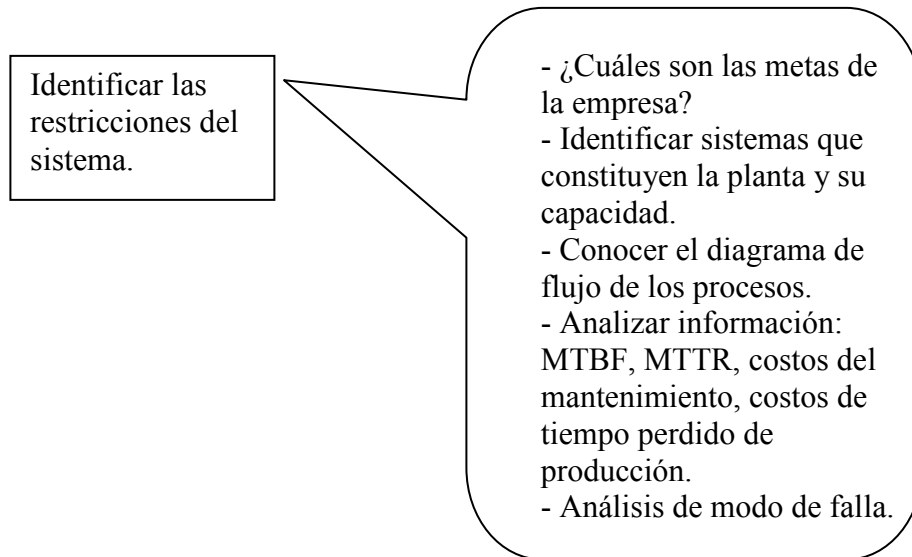
Una planta de producción o un conjunto de maquinaria en una obra, está organizada en sistemas que desarrollan diversas tareas pero todas contribuyen a lograr algunos de los productos de la planta. Con frecuencia se presentan problemas que paran la producción o merman su velocidad y son por causa de los equipos que conforman las líneas de producción.

Una de las primeras tareas para lograr identificar las restricciones de una planta es identificar los diferentes sistemas instalados y los diferentes procesos que ocurren dentro de ella. Si se observa una planta, se podrán identificar diversos sistemas como:

- Sistema de energía eléctrica.
- Sistema de transmisión de energía mecánica.
- Sistema de energía hidráulica.
- Sistema de energía neumática.
- Sistema de agua tratada.
- Sistema de aguas residuales.

- Sistema de aire acondicionado.
- Sistema de manejo de la información.
- Las líneas de producción.
- Sistema de transporte de materia prima y de producto terminado.
- Otros sistemas, dependiendo del tipo de industria.

Figura 4. Paso 1 TOC



En la figura 4 se identifican algunas de las herramientas para identificar las restricciones en una línea de producción.

Los diversos procesos de producción que ocurren en una planta, utilizan los diferentes sistemas instalados, en mayor o menor proporción. Los procesos de producción se dan en la planta utilizando los recursos suministrados de materias primas o materias en proceso y empleando las máquinas instaladas en líneas de producción. Las máquinas por su parte utilizan los recursos suministrados por los diferentes sistemas de suministro de energía.

Para facilitar el análisis de los procesos de producción en búsqueda de los “cuellos de botella” causados por los equipos que componen la planta hay que empezar por descubrir en dónde se presentan, o se pueden presentar, la acumulación de materia en proceso o, en el caso de empresas de construcción, o cuál es la actividad que se vuelve crítica porque retrasa el avance de la obra.

El análisis se facilita si se conoce el diagrama de flujo de materia prima dentro de las líneas de producción y a la vez se conoce la capacidad de los equipos instalados. Igualmente debe conocerse la capacidad de los sistemas auxiliares.

Con alguna frecuencia se encuentra que “los cuellos de botella” se presentan porque el personal de Operaciones no conoce las especificaciones de los equipos y los trabajan por debajo de sus capacidades causando disminución en el ritmo de producción o los trabajan fuera de sus especificaciones o por encima de sus capacidades produciendo averías que paran la producción o daños en la producción como roturas o producto fuera de especificaciones de calidad. Esta situación es de fácil solución si se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- Mantenimiento, quien debe conocer muy a fondo los principios de funcionamiento de cada uno de los equipos, su función dentro de la línea de producción y sus especificaciones técnicas, brinda un apoyo capacitando al personal de Operaciones en esos temas. Con seguridad se conseguirá una mejor operación reflejada en una mayor producción, buena calidad de los productos y menos paradas para mantenimiento.
- El personal de Operaciones también adquirirá mejor conocimiento del funcionamiento de los equipos y de sus capacidades si es involucrado en las reparaciones de la maquinaria cuando se hacen trabajos mayores, overhauls, o por programación de la producción quedan parados los equipos y el personal de Operaciones queda cesante.

Este conocimiento del equipo y de sus especificaciones por parte del personal de Operaciones contribuye también a que ellos puedan detectar síntomas de daños como desalineamientos, recalentamientos, vibraciones o fugas y también que puedan desarrollar tareas menores como aprietes, tareas de lubricación o cambio de elementos que no requieran amplios conocimientos técnicos.

A su vez, Mantenimiento debe enfocar sus esfuerzos en conocer cuáles son los equipos o líneas de equipos que restringen la producción y hacer lo necesario para lograr que estos equipos obtengan la mejor disponibilidad, mejoren su capacidad y se tengan alternativas en caso de paradas, programadas o no programadas, por Mantenimiento.

Los estudios, políticas que se adopten, instructivos, procedimientos y mejoras que se hagan por parte de Mantenimiento deben estar enfocadas principalmente a reducir los tiempos de parada de las máquinas “cuello de botella”, a mejorar su confiabilidad y a aumentar su capacidad actual y a asegurar la calidad de su producción.

Vale también la pena, analizar el diseño de las líneas de producción. Pareciera que la solución de diseño para evitar tener unos “cuellos de botella” fuera tener una planta balanceada, es decir contar con unas líneas de producción en donde todos los equipos fueran seleccionados para producir la misma cantidad de unidades por hora. Es decir, que si se requieren 100 unidades por minuto, todos los equipos fueran diseñados para esa producción. En esta situación la inversión

en equipos sería para 100 unidades y los costos operativos y mantenimiento serían para 100 unidades. Sin embargo, desde el punto de vista de la “Teoría de restricciones” de Eli Goldratt, esto constituye un error. Las razones son las siguientes. TOC distingue 2 tipos de eventos:⁶

- Eventos dependientes. Cuando es necesario que suceda un evento o una serie de eventos antes de que otro pueda comenzar. El evento subsiguiente depende de los anteriores a él.
- Fluctuaciones estadísticas. Los eventos dependientes no suceden sin ningún tipo de alteración. Existen fluctuaciones que afectan el nivel de productividad de los diferentes equipos como pueden ser materias primas, ausentismo laboral, cortes de energía y rotura de máquinas.

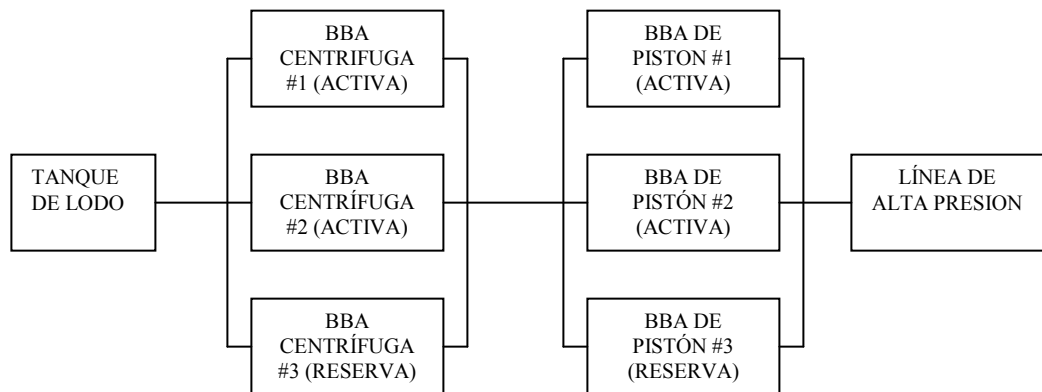
La relación de este tipo de eventos hace que una planta balanceada se desajuste produciendo pérdidas de producción. En el diseño de la planta, con la presencia del área de Mantenimiento, se debe encontrar los puntos críticos de la cadena y prever cómo resolver el problema en caso de paradas del eslabón más débil. Desde el diseño se debe prever que algunos equipos deben tener mayor capacidad que otros, sobre todo los del final de la línea, que deben asumir las fluctuaciones de producción de los equipos anteriores en la línea de producción. En ocasiones la parada de una máquina no solo ocasiona dejar de producir sino también pone en peligro el producto en proceso o la vida de las personas. En algunos casos conviene analizar la posibilidad de:

- **Carga distribuida en varios equipos.** En lugar de un equipo que produzca 100 unidades en ocasiones puede ser más conveniente tener 2 equipos de 50 unidades trabajando en paralelo de tal manera que si hay una parada de un equipo continúa el otro así sea a media marcha pero manteniendo unas condiciones mínimas de operación. Estos equipos deben estar interconectados tanto a la entrada como a la salida en la línea de producción de tal manera que los equipos precedentes y los posteriores puedan trabajar con cualquiera de las máquinas duales. Es posible que los costos de inversión y de mantenimiento aumenten pero hay que evaluar esos costos contra el costo de parar totalmente la cadena de producción, sobre todo si una parada pone en riesgo vidas o la misma producción. Para hacer este análisis existen herramientas como RBD, “diagrama de bloques de confiabilidad”. Seguramente, luego de un análisis, la probabilidad de capacidad disponible para la producción sea igual con una máquina para el 100% que con 2 que cubren el 50% cada una y la suma de los costos de los dos equipos es mayor a mantener un solo equipo pero también aumenta la confiabilidad del sistema al tener 2 máquinas en lugar de una. Vale la pena evaluar el costo del riesgo contra el costo adicional de

⁶ GOLDRATT, Eliyahu. La Meta. Ediciones Regiomontanas, 2 ed. Cap 13.

adquisición y mantenimiento. Un ejemplo de la aplicación de esta solución es el sistema de bombeo de un equipo de perforación, descrito en la figura 5, en donde se encuentran varias bombas centrífugas que alimentan a varias bombas de pistón para inyectar el lodo al pozo que se está perforando. Las bombas centrífugas alimentan un manifold común y de este a la vez se alimentan todas las bombas de pistón de tal manera que en caso de falla de alguna de las bombas, el sistema siga funcionando, así no sea a plena capacidad.

Figura 5. distribución de equipos de bombeo en un equipo de perforación.



- Equipos redundantes o backup. Son equipos que están instalados en la línea de producción y están disponibles para trabajar en caso de paradas del equipo principal. Pueden ser de la misma o menor capacidad del equipo principal, dependiendo de la criticidad del equipo en la cadena de producción y de los equipos dependientes del equipo cuello de botella. Su instalación debe ser de tal manera que su entrada en línea sea rápida y sin cambios mayores en la línea de producción. Se debe también hacer análisis económicos para determinar si los costos de falla (pérdidas operativas, pérdidas de producción, de mercado y otros gastos), son de tal tamaño que dan para pagar el equipo redundante en un periodo determinado que se tome para el análisis. Para estos análisis existen guías de tiempos Standard y costos para mantenimiento preventivo y correctivo elaboradas por los mismos fabricantes o por asociaciones de ingeniería.

No necesariamente debe esperarse a que se presenten atascamientos de producto en proceso o represamiento de trabajo para detectar las máquinas críticas dentro de los procesos de producción. Mantenimiento puede hacer un análisis de los posibles modos de falla de los equipos que se consideran críticos y

trabajar sobre cómo prevenir esas fallas y, en caso de que se presenten, cómo solucionarlas con prontitud.

En ese análisis de la causa de la restricción, debe también analizarse la posibilidad de existencia de políticas erróneas o procedimientos equivocados, tanto de mantenimiento como de producción.

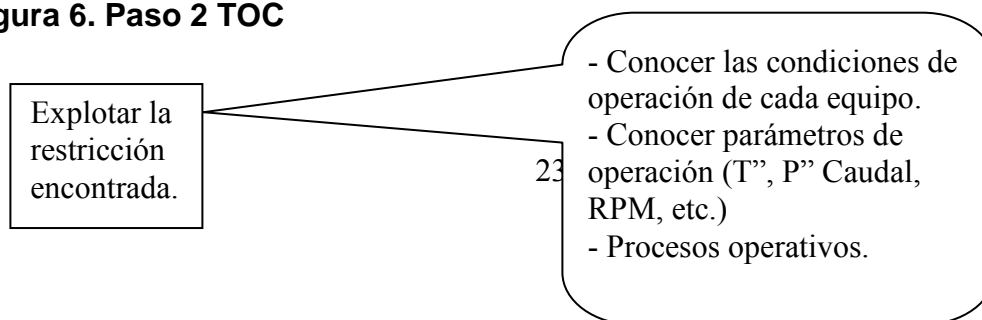
3.2 PASO 2: EXPLOTAR LA RESTRICCIÓN ENCONTRADA EN EL SISTEMA

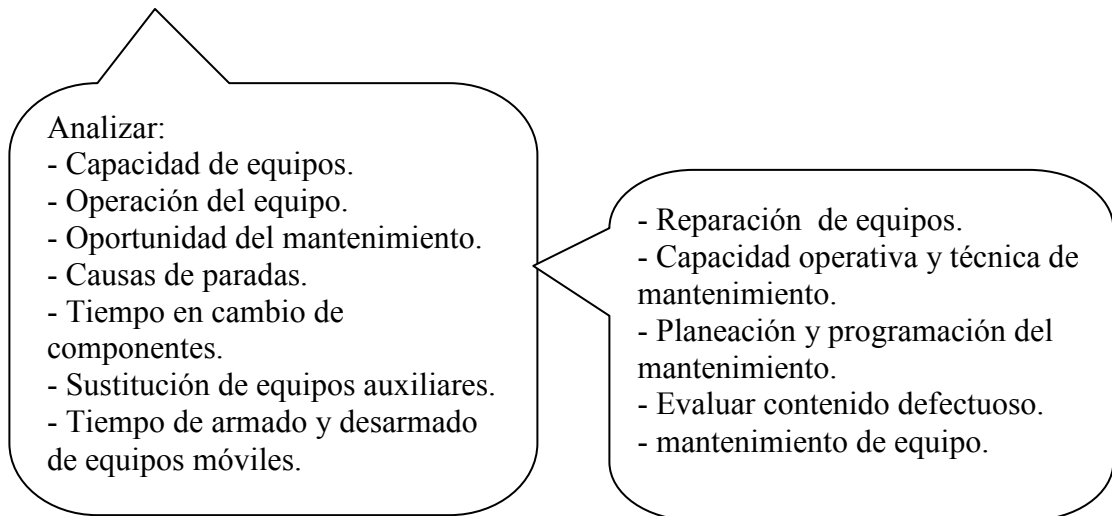
La teoría de restricciones dice que una vez encontrada la máquina causante del cuello de botella, hay que llevarla al máximo de su capacidad y utilizarla todo el tiempo que sea posible. Una vez se tenga que la causa se debe a la capacidad real de una máquina determinada hay que entrar a hacer el análisis de los elementos de los diferentes conjuntos que la componen y de los sistemas que los alimentan como energía eléctrica, hidráulica, neumática, agua etc. Las máquinas a su vez, también están conformadas por diferentes sub-sistemas y es necesario saber cómo están compuestos, cuál es su funcionamiento y cuáles son los parámetros normales de operación. Tanto para las máquinas como para los sistemas auxiliares deben conocerse los parámetros normales de operación como presiones, temperaturas, voltajes, consumo de energía, caudales etc. Con frecuencia se encuentra que faltan los instrumentos o no están correctamente calibrados o se desconoce su rango correcto de operación.

Nuevamente, al conocer el sistema o subsistema que falla, se debe aplicar la Teoría de restricciones para encontrar el cuello de botella y definir el elemento que está por debajo de especificaciones. Un ejemplo puede ser: cuando en una línea de producción se detecta que una máquina no trabaja a plena capacidad y se encuentra que su problema es el recalentamiento del sistema hidráulico de esta máquina. Ahora, hay que revisar el sistema hidráulico del equipo y encontrar la restricción que impide su buen funcionamiento, observando el sistema como un todo y buscando el elemento que se constituye en cuello de botella. Puede ser que el recalentamiento que se presenta sea causado por una falla de cualquiera de los elementos como tanque, bomba, mangueras, mandos o elemento operado (cilindro o motor hidráulico) o sea un problema de diseño

En la figura 6 se enuncia el Paso 2 de la Teoría de Restricciones y se muestra una guía para superar la restricción encontrada.

Figura 6. Paso 2 TOC





La Teoría de restricciones en mantenimiento, debe aplicarse siempre teniendo en cuenta el sistema a que pertenece el equipo en donde se detecta que se forma el “cuello de botella”.

Para hacer un buen análisis de las fallas más frecuentes de los equipos más importantes debe contarse con un buen sistema de información (CMMS) en donde se consignen todos los trabajos ejecutados o que están pendientes por ejecutar a los equipos. Se debe identificar cada equipo de qué sistema de la planta hace parte, y si hay equipos similares, también se debe tener identificada la familia a la que pertenece. De igual manera, se deben codificar las fallas, modos de falla y causas más comunes. Con todo esto se busca facilitar luego el análisis de las fallas que más afectan el rendimiento de las máquinas críticas. Una guía para el análisis de la causa de la restricción se encuentra en el cuadro inferior izquierdo de la figura 6. Ahí se enumeran las diferentes causas de atrasos en la operación o de paradas de planta.

Debe procederse también a hacer pruebas de operación para verificar la real capacidad del equipo o la línea de producción, deben revisarse las eficiencias. Estas pruebas deben hacerse teniendo en cuenta los procedimientos y normas establecidos por la industria para cada tipo de equipo y las recomendaciones de los fabricantes.

Luego de hallado el punto en donde el proceso de producción fluye con dificultad, se entra a analizar la posible causa. No se debe trabajar solamente sobre el elemento que falló sino analizar todo el sistema a que pertenece porque ese

elemento puede haber operado como fusible pero la causa de la falla puede estar presente en todo el sistema.

En este análisis de “las posibles causas”, se insiste nuevamente, es clave la participación conjunta tanto del personal de mantenimiento como del personal de Operaciones, pues se tienen criterios desde dos puntos de vista diferentes y eso enriquece el análisis. En estos análisis debe tenerse en cuenta a los operadores directos de los equipos y las personas que les dan soporte por parte de mantenimiento y materiales. Es clave también toda la información estadística que se posea, ya sea captada por medio del CMMS o por reportes del área de producción

Las causas para que un equipo se constituya en “cuello de botella” pueden ser varias. En la figura 7 se enuncian las causas más frecuentes que pueden presentarse para que un equipo se constituya en “cuello de botella”. A continuación se hace una breve explicación de cada una de ellas:

- ❖ Capacidad del equipo. Es posible que el programa de producción se haga teniendo en cuenta las capacidades nominales de la planta pero por alguna circunstancia de diseño, selección de equipo o cambios posteriores, la capacidad del equipo instalado no corresponda a la que realmente requiere la línea de producción.
- ❖ Mala operación del equipo. Otra causa frecuente para que un equipo trabaje por debajo de su capacidad es el desconocimiento de las capacidades reales del equipo en unas condiciones determinadas y por tanto se trabaje por debajo de su capacidad o en circunstancias que no son las más favorables. En ocasiones también, el personal de producción no conoce cómo operar el equipo o el sistema para encontrar el mejor rendimiento con el menor desgaste de equipo y el más bajo consumo de energía.
- ❖ Mantenimiento mal programado. Pueden haber también pérdidas de tiempo de producción porque los equipos son requeridos para hacerles mantenimiento preventivo o correctivos programados durante la jornada de producción o deje de hacerse mantenimiento porque el programa de producción no lo permite o al área de operaciones determina que la fase de producción en que se está, no permite parar. Se puede presentar también pérdidas de tiempo por una programación de mantenimiento demasiado frecuente.
- ❖ Paradas frecuentes del equipo. A veces suceden paradas frecuentes de los equipos, que por el poco tiempo de duración y la fácil solución, no son tenidas en cuenta a la hora de determinar los tiempos perdidos pero, que si se suman los tiempos de esas paradas menores y los traumas causados sobre la producción, su impacto es

representativo. Además, el personal de producción se va acostumbrando a la falla y la falla se vuelve una “falla oculta”

Figura 7. Causas para que un equipo sea cuello de botella.



- ❖ Equipo trabajando por debajo de su capacidad. Es posible también, encontrar equipos trabajando por debajo de su capacidad debido a su deterioro por el uso o a averías no corregidas o una incorrecta operación.
- ❖ Equipo desajustado, productos sin calidad. Pueden presentarse paradas debido a desajustes del equipo que hacen que haya atascamientos en la línea de producción, contaminación del producto con daños sobre la producción o sobre la obra que se está ejecutando y obligue a retrabajos.
- ❖ Equipos auxiliares inadecuados. Muchas veces las fallas pueden ser no directamente del equipo que produce el cuello de botella sino de

los equipos o instalaciones de los sistemas auxiliares como suministro de energía eléctrica, neumática o hidráulica.

- ❖ Equipos de la línea, bajos de especificaciones. En el análisis de la línea de producción es necesario mirar aguas arriba y aguas abajo de la máquina en donde se presenta el atascamiento o el cuello de botella de producción para verificar que no sea otras máquinas o partes del sistema las que están trabajando por debajo de especificaciones pero el problema se manifieste en la máquina en donde se represa la producción. Siempre hay que observar la máquina dentro del sistema que está instalada y teniendo en cuenta el trabajo real que se le está exigiendo.
- ❖ Cambio lento de componentes como piezas sometidas a desgastes o partes que se requiere cambiar de acuerdo a condiciones de operación. Hay operaciones, tanto de producción como de construcción de obras, en que se requiere cambiar componentes a las máquinas porque los programas de trabajo lo exigen, ejemplo, troqueles o también partes sometidas a fricción.
- ❖ Dificultad para arme y desarme de equipos móviles. Se presenta cuando las líneas de producción o de construcción de obras son móviles y su desarme, traslado y arme se hacen con relativa frecuencia. Estas mudanzas tienen un buen peso en los tiempos perdidos para la operación y afectan la integridad del equipo.

Cuando ya se tenga identificada el tipo o tipos de anomalías encontradas, hay que proceder a corregirlas para llevar el equipo y el sistema a que pertenece a su mayor capacidad para atender las líneas de producción. Las tareas que se hagan para lograr la mejora del equipo deben hacerse dejando registro de cada uno de los pasos.

Mantenimiento tiene una gran labor que desarrollar en este propósito de llevar el equipo a su máxima eficiencia y algunas de las posibilidades para lograrlo se enuncia en la figura 8. Un análisis de esas posibilidades se hace a continuación:

- Reparación del equipo. Si la causa del bajo rendimiento del equipo es su mal estado o paradas frecuentes debidas a fallas menores, debe procederse a planear, programar y ejecutar su reparación. Las reparaciones deben hacerse siguiendo las instrucciones de los manuales entregados por los fabricantes y los procedimientos redactados por la empresa. Deben abrirse Órdenes de trabajo en donde se registre los datos tomados en las pruebas iniciales, los análisis de causas de la falla y los trabajos efectuados para llevar el equipo nuevamente a su capacidad nominal de trabajo y registro de los datos de las pruebas finales de

funcionamiento. De igual manera deben dejarse recomendaciones para reparaciones futuras. Un buen análisis de fallas permite recoger información sobre las causas frecuentes de parada de un tipo de máquina o un sistema de una máquina.

Figura 8. Labores para llevar el equipo a su máxima eficiencia.



- Capacitación del personal de operaciones. Si el mal desempeño del equipo se debe a que se trabaja por debajo de especificaciones o los operadores no conocen cual es la forma de lograr el máximo rendimiento de acuerdo a las condiciones de carga, hay que proceder a la capacitación y entrenamiento del personal para lograr la mejor producción sin llevar el equipo a un desgaste prematuro. En esta capacitación debe participar mantenimiento, quien es quien mejor debe conocer cómo funciona el equipo, sus parámetros de funcionamiento y las curvas de mejor rendimiento de acuerdo a la carga.
- Capacitación del personal de mantenimiento. Puede detectarse también que el mal funcionamiento del equipo o sus frecuentes paradas se deba a un mal alistamiento o una mala reparación debido al desconocimiento de la

máquina por parte de los técnicos de mantenimiento o a falta de formación básica y entrenamiento. También se puede encontrar como causa del desconocimiento de la máquina la falta de manuales y procedimientos escritos que guíen al técnico durante la reparación. Esto hace el equipo no opere en condiciones óptimas y con frecuencia presente fallas, que al no ser eliminadas de una forma correcta, se sigan presentando problemas, se presenten daños adicionales por malas intervenciones y se acelere el deterioro del equipo. Se debe acudir a los fabricantes o sus representantes en busca de soporte técnico y capacitación pues la responsabilidad y el interés de ellos no termina con la entrega del equipo y deben seguir siendo aliados de la empresa.

- Planeación de las tareas de mantenimiento. Los recursos de mantenimiento son limitados y deben aprovecharse al máximo. En donde se presenta una mayor oportunidad de optimizar el uso de estos recursos es en la planeación de los trabajos. Los trabajos de los equipos “cuello de botella” deben ser planeados al detalle para que en el momento de su ejecución se garantice que se cuenta con todos los recursos y el personal responsable cuente con instrucciones claras, posea los procedimientos y el entrenamiento para ejecutar los trabajos y cuente con una supervisión que oriente y agilice su trabajo.

Cuando se logra tener una buena planeación de los trabajos, se puede determinar la cantidad de recursos necesarios y se puede analizar si se cuenta con ellos o es necesario recurrir a soporte externo.

A las tareas de mantenimiento hay que fijarles una prioridad.

- Los trabajos prioritarios son aquellos que tienen que ver con la seguridad del personal y la preservación del medio ambiente.
- En seguida la prioridad corresponde a los trabajos de las máquinas de mayor criticidad. Estos trabajos son los primeros a realizarse con los recursos disponibles. No hay duda que los trabajos prioritarios son los que se tengan pendientes del RCC o recurso cuello de botella.
- Si los recursos de mantenimiento son limitados, hay que mirar en tercer lugar los trabajos requeridos por los equipos anteriores en el proceso al RCC y ejecutar los que sean necesarios para garantizar que puedan alimentar debidamente el RCC y no se pierda tiempo de ese equipo.
- Los cuartos en atenderse en orden de prioridad, son los equipos posteriores al cuello de botella pues seguramente su capacidad es

mayor que la del RCC y podrá, una vez reparada, procesar los productos en proceso que se encuentran represados.

- Los últimos en prioridad son aquellos trabajos que no influyen en la seguridad, la producción y conservación de los equipos, así sean trabajos para los RCC.
- programación oportuna de las labores de mantenimiento. En ocasiones también el área de mantenimiento solicita los equipos para ejecutar las tareas programadas de mantenimiento preventivo y las máquinas dejan de producir. Es necesario entonces, que en conjunto, mantenimiento y operaciones busquen los momentos en que determinados equipos no son requeridos por la operación o el impacto para la producción es mínimo. Esto puede ser por ejemplo, cuando la operación no trabaja las 24 horas del día o todos los días de la semana. Igualmente se puede aprovechar cuando hay interrupciones para la toma de alimentos, charlas de seguridad o paradas para acondicionar la línea de producción para entrar a producir otro producto diferente. Cuando el programa de mantenimiento preventivo es por periodos de tiempo o de uso cumplidos, la comunicación entre el área de mantenimiento y el área de operaciones debe ser muy buena para que el mantenimiento se haga en el momento de para de la máquina mas cercano a la fecha en que se cumpla el periodo de uso, ya sea antes o después. Si el desfase es mayor a un % que se fije, entonces debe pararse el equipo en el momento mas oportuno para hacer el mantenimiento preventivo.
- Evaluación de la cantidad de Mantenimiento. Vale la pena analizar la cantidad de mantenimiento preventivo que se hace para hallar un equilibrio económico entre la producción perdida por las paradas para mantenimiento preventivo y el riesgo que se corre si se alargan los periodos entre la ejecución de las tareas. Si se toma la decisión de alargar los periodos, seguramente hay que replantear los trabajos a ejecutar en cada parada. Si se visualiza que el ingreso de la producción adicional lograda es mayor que los costos adicionales de mantenimiento, debe tomarse la decisión de alargar los periodos entre mantenimientos.
- Trabajos de mantenimiento correctivo no programados, que ocasionan paradas repentinas de planta, deben desarrollarse con prontitud para poder ejecutarlos en el menor tiempo posible. Debe tenerse un plan de emergencia para atender los equipos que son únicos y que se constituyen en cuellos de botella. Es necesario entonces, hacer un listado de posibles modos de falla de las máquinas críticas para la producción (análisis FMEA). Luego de tener ese listado de posibles modos de falla, buscar las causas y tomar las medidas para evitar que no ocurran pero si se da el caso, hay

que prever cómo atender ese tipo de emergencias. Dentro de los recursos necesarios están:

Personal. Si dentro de la planta no se cuenta con un personal permanente de mantenimiento durante todo el tiempo de producción, debe entonces disponerse de personal disponible, es decir, que a pesar de estar en descanso, este personal sepa que en caso de emergencia va a ser llamado y por tanto debe permanecer relativamente cerca del trabajo y en condiciones de laborar. Deben establecerse modos de comunicación que faciliten la localización como listado de teléfonos fijos, radios o celulares. Este personal disponible puede ser rotado. En los frentes de trabajo se debe tener la programación mensual de las personas a quienes se debe llamar en caso de emergencia.

Herramientas. La persona disponible para ser llamada, debe tener acceso a las herramientas especiales, para poder disponer de ellas en caso de requerirlas.

Repuestos y materiales. Por parte del almacén también debe haber una persona disponible para estas emergencias o tener acceso al almacén por parte de la persona disponible de mantenimiento. Es muy importante acordar una cierta disponibilidad con los proveedores de los materiales que se hayan definidos como críticos y que a pesar de su importancia se haya decidido no tenerlos en almacén de la empresa sino que los tenga el proveedor y los suministre en el momento que se requieran. Se debe acordar con el proveedor que en caso de emergencia esté dispuesto a abrir su almacén y entregar las partes. Mantenimiento también debe tener visualizado qué componentes de los equipos críticos pueden presentar fallas y si la cantidad de equipos o la criticidad lo ameritan, tener listos en el almacén de la empresa estos componentes.

Servicios. Con los proveedores de servicios debe hacerse acuerdos similares de disponibilidad a los que se hacen con los proveedores de materiales. Esos servicios pueden ser de talleres o de técnicos o de alquiler de equipos. En caso de emergencia esos talleres que brindan soporte básico deben estar dispuestos a trabajar las 24 horas en cualquier fecha del año.

Equipos de reemplazo. Dentro del programa anual de mantenimiento debe hacerse también un análisis de la cantidad de equipos instalados de cada tipo, como por ejemplo motores de cierta capacidad, y de acuerdo con el uso programado por Operaciones, el

uso a la fecha y el total de vida útil presupuestado, calcular la cantidad de reparaciones a efectuar y los equipos reemplazos que se requerirían de tal manera que cuando se presente la falla de uno de esos equipos o en caso de falla prematura, se tenga listo el reemplazo.

- Mejoramiento de los equipos. En el objetivo de disminuir los tiempos perdidos por la Operación, mantenimiento también puede tener logros si trabaja no solo en el mantenimiento sino también en el mejoramiento de equipos o en facilitar la labor de reemplazo de partes o herramientas de la máquina. Estos logros pueden ser obtenidos si se hacen actualizaciones al equipo o si se implementan dispositivos o ayudas que faciliten el cambio de piezas o de repuestos. Para hacer estos cambios hay que partir del análisis de los trabajos que se hacen con la máquina por parte de Operaciones o de los trabajos que se le hacen a la máquina por parte de mantenimiento. Nuevamente, el concepto e ideas de los operadores y técnicos de mantenimiento son fundamentales para que estas innovaciones sean exitosas.

3.3 PASO 3: SUBORDINAR TODO A LA RESTRICCIÓN ANTERIOR

El tercer paso de la Teoría de restricciones (TOC) dice que todo el sistema debe funcionar de acuerdo a las decisiones tomadas para hacer que la restricción sea explotada al máximo. Es decir, luego de que se detecta el cuello de botella y se hacen los arreglos necesarios para que en ese punto se logre la mayor productividad posible, el resto de la cadena de producción debe programarse para que marche a la velocidad de ese paso, evitando excesos de materia prima en proceso, equipos funcionando en vacío y excesos de consumos de energía y mano de obra en los demás equipos implicados en el proceso. Pero también se debe programar el proceso de manera tal que se garantice que el equipo que ocasiona la restricción no se pare. Entonces, toda la programación de producción y de Mantenimiento debe darse para que esto ocurra

El papel de mantenimiento en este punto es lograr la máxima la disponibilidad del “equipo cuello de botella” y mantener su capacidad de trabajo cercana al 100% de la capacidad de diseño.

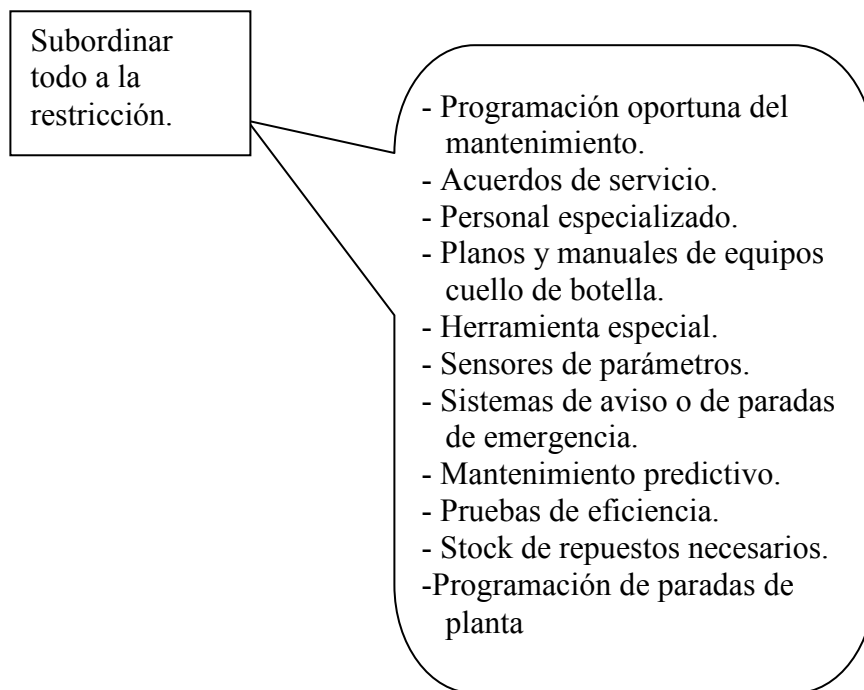
En la Figura 9 se enuncian algunas tácticas de Mantenimiento para mantener el equipo en condiciones de operar al 100% de su capacidad.

Mantenimiento, junto con el departamento de Producción, debe hacer el análisis de la capacidad del equipo o equipos cuello de botella y del ciclo de producción en que están involucrados, tanto en el día, como en el mes y en año, para encontrar los espacios en que Mantenimiento puede ejecutar sus trabajos, afectando lo

menos posible a la producción y elaborar la **Programación oportuna del mantenimiento**. De estos análisis se debe llegar a **Acuerdos de servicio**, es decir, documentos en donde se plasme los periodos de tiempo en donde se pueden hacer las labores de mantenimiento. Este plan debe ser revisado con frecuencia para encontrar momentos inesperados de parada de producción que pueden ser de utilidad para ajustes de mantenimiento.

De igual manera el Acuerdo de servicio debe ser revisado por las partes en periodos no mayores a un año.

Figura 9. Paso 3 TOC



Mantenimiento debe tener **personal especializado** en los equipos cuellos de botella. Se debe contar con técnicos que puedan hacer un mantenimiento tal que se eviten paradas no programadas y en caso de darse, resolver cualquier clase de problema que se presente en estas máquinas. La capacitación debe darse a varios técnicos para evitar dependencia de una sola persona.

Es posible que en ocasiones se llegue a la conclusión que no se necesita permanentemente el especialista en la planta para atender este equipo, pero entonces debe contarse con un servicio de una empresa externa especializada. Debe hacerse el análisis del costo de parada por no contar con el técnico permanentemente si la respuesta de la empresa externa no es oportuna. Es preferible contar con el técnico en el momento oportuno, así le quedara tiempo ocioso o para tareas menores, a parar la producción por falta de una asistencia

oportuna. Para estos equipos cuello de botella, mantenimiento debe contar con todos los **planos, manuales de operación, manuales de mantenimiento, catálogos de partes y procedimientos de mantenimiento elaborados por la empresa**. Debe contar también con toda la herramienta requerida para cualquier tipo de intervención. Cualquier modificación que se haga a la máquina, debe ser previamente aprobada por el departamento de ingeniería y quedar registro escrito del cambio en donde se consigne los cálculos técnicos y económicos elaborados.

Los equipos “Cuello de botellas” deben contar con **sensores de parámetros** que permitan conocer sus condiciones reales de operación tales como temperaturas, niveles de fluidos, revoluciones, velocidad, caudales, presiones, consumo de energía, cargas de trabajo, ángulos de operación etc. Dependiendo de la máquina y de su costo, puede contarse con sistemas de registro en línea de esta información. De todas maneras, Mantenimiento debe llevar un registro de estos parámetros, elaborar curvas y hacer su análisis permanente.

Debe contarse también con **sistemas de aviso o de parada de emergencia** para cuando el equipo opere por fuera del rango de cada uno de los parámetros de operación. Estos sistemas pueden ser alarmas sonoras, de luces, sistemas de descargas automáticas o sistemas de parada. Cada vez que se dispare un sistema de prevención o seguridad de un equipo, debe analizarse la causa y no arrancar de nuevo la máquina sin determinar el origen de la alarma o disparo. Por ningún motivo debe anularse el mecanismo de alarma ni variar los topes de disparo de la alarma para arrancar de nuevo la máquina. Todo el personal de operaciones y mantenimiento involucrado con la máquina debe conocer los rangos correctos de los diferentes parámetros de funcionamiento.

Todos los sistemas de sensores y de prevención de daños deben tener establecidos unos programas de pruebas con sus procedimientos de acuerdo con las normas de la industria en que se trabaja y a recomendaciones de los fabricantes. De estas pruebas y calibraciones deben quedar registros escritos y si es posible, una tarjeta en la misma máquina en donde se registre la fecha de la última prueba que permita en las inspecciones de planta detectar alguna falta al programa de prueba de estos elementos.

Para estos equipos cuellos de botella debe definirse por parte de Mantenimiento un programa de **mantenimiento predictivo**. Este programa depende del tipo de equipo, de su costo, de la tecnología incorporada y de la carga de trabajo a que está sometido. Con el programa se pretende conocer las condiciones reales de operación de tal manera que se puedan hacer intervenciones oportunas para evitar parar la producción antes de tiempo o que sucedan daños imprevistos que puedan ser catastróficos. Debe determinarse el tipo de datos a capturar y de esta manera seleccionar las tecnologías a emplear como análisis de vibraciones, termografías, toma de consumo de energía, análisis de aceites etc. De estos datos

debe llevarse un registro histórico de tal manera que se puedan analizar las tendencias de comportamiento del equipo.

Los equipos cuello de botella deben ser sometidos a **pruebas de eficiencia** para conocer sus reales condiciones de operación. Los equipos deben estar disponibles para trabajar de acuerdo con los requerimientos de la producción. No siempre es el 100% de sus condiciones de diseño. Estas pruebas de funcionamiento deben ser diseñadas de acuerdo a recomendaciones de los fabricantes y normas de la industria. De estas pruebas deben quedar registros.

Debe también determinarse la unidad de trabajo o de uso a tener en cuenta como parámetro para llevar a cabo las mediciones de mantenimiento predictivo y preventivo. Puede ser tiempo de trabajo, cantidad de unidades producidas, kilómetros recorridos, ciclos de trabajo, tiempo cronológico o cualquier otro que nos permita determinar el trabajo a que ha estado sometido el equipo. En todos los casos debe buscarse la forma de llevar un registro exacto de uso de acuerdo al parámetro seleccionado.

Vale la pena hacer también el análisis de ciertas piezas que deben ser cambiadas luego de determinado uso, o si son varias similares, cuando una de ellas falla. Esta consideración se hace para elementos que no son muy costosos pero su cambio si puede representar un tiempo de parada importante. Entonces, se aprovecha una sola parada programada para hacer todos los cambios.

En los reportes que se presentan a la gerencia de la empresa debe tener un lugar especial el análisis por parte de los ingenieros de planeación del mantenimiento de estos equipos cuello de botella. En este reporte deben estar los índices de disponibilidad, confiabilidad y manteneabilidad para cada una de las máquinas cuellos de botella y analizarse las paradas representativas que se hayan tenido.

Debe también presentarse estadísticas de las fallas mas frecuentes de esos equipos y el análisis de la raíz de la causa de la falla.

Mantenimiento debe hacer un estudio especial del **stock de repuestos necesarios** para los equipos cuellos de botella. Debe tenerse especial cuidado con los repuestos que son de importación. Si los repuestos son de fabricación local, se debe ser muy estricto con los plazos de fabricación aceptados y con la calidad del trabajo del proveedor. Materiales a su vez, debe presentar a mantenimiento informes periódicos del estado del inventario de estos ítems y de su comportamiento histórico.

El departamento de Mantenimiento debe preparar conjuntos del equipo para tener en almacén de tal manera que en caso de falla el tiempo perdido por parada sea menor.

En la programación del mantenimiento, las órdenes de trabajo del equipo cuello de botella tienen prioridad y su planeación debe ser detallada. A esas órdenes de trabajo se le deben asignar los mejores recursos.

Merece una mención especial la aplicación que tienen TOC para el desarrollo de los proyectos de ingeniería y que aplica a las **paradas de planta**. Con alguna regularidad se presentan paradas de planta, ya sea programadas por producción o por pedido de Mantenimiento para hacer reparaciones pendientes que solo se pueden hacer con la planta parada o hacer modificaciones o instalaciones de nuevos equipos. En cuanto al mantenimiento correctivo programado, deben agruparse los trabajos que dan espera y tenerse planeados y con los recursos necesarios visualizados para ejecutarlos, ojalá cuando se dé una “ventana” en la producción. Estas paradas deben estar muy bien planeadas y programadas con la suficiente anterioridad para que su ejecución sea exitosa. En lo posible, complementar el listado de trabajos pendientes que se tienen con una inspección previa por parte de los técnicos de mantenimiento y los operadores de la planta. En la planeación de las tareas, debe tenerse en cuenta la hoja de vida del equipo, fallas anteriores presentadas y reparaciones o mejoras implementadas.

Normalmente dentro de los trabajos a ejecutar en la parada hay tareas dependientes unas de otras y tareas independientes pero que convergen con otras para culminar con un trabajo determinado. Es decir, hay tareas que su inicio depende de la terminación de otra o de otras. Las tareas dependientes constituyen cadenas y el ritmo de avance en una cadena de tareas depende del tiempo consumido en cada una de ellas. Pero también hay fluctuaciones estadísticas, es decir, se presentan circunstancias que hacen que el tiempo estimado para la ejecución de una tarea varíe y entonces los tiempos que estadísticamente se tiene para la ejecución de una tarea sean mayores que los que se requieren si no existieran fluctuaciones.

La forma mas usual de hacer una programación de parada es utilizando el sistema de Camino de Ruta crítica, en donde a cada tarea se le asigna un tiempo para su ejecución pero se considera también por parte de los programadores un porcentaje adicional de tiempo para cubrir las fluctuaciones causadas por los imprevistos. Luego de tener las tareas establecidas con sus tiempos asignados y sus dependencias determinadas entre sí, se determina El camino crítico, que es aquel que nos indica qué actividades son las que hay que ejecutar prioritariamente y en los tiempos establecidos para que el objetivo de la parada se logre en la fecha prevista.

De acuerdo con la Teoría de restricciones, no se deben considerar tiempos adicionales con sus recurso para cada una de las tareas, sino considerar “Buffer” o tiempos de amortiguación en algunos puntos determinados de las cadenas de trabajo para cubrir las fluctuaciones estadísticas. Entonces, en cada tarea de la cadena se considera el tiempo estrictamente necesario y se toma como el tiempo

disponible para esa tarea, eliminando los tiempos de seguridad ocultos. Lo mas probable, cuando se programa con holguras es que se termine utilizando el tiempo programado o se termine antes pero no se puede continuar con la tarea siguiente porque los recursos estén dedicados a otra tarea.

El “método para determinar la cadena crítica” sigue la siguiente secuencia:

- Se definen las tareas, su duración y su dependencia.
- Se fija la fecha en que se necesitan los resultados. (fecha de culminación).
- Se programan las tareas hacia atrás.
- Se determina cual es la fecha más tardía para comenzar, tomando como base la fecha objetivo de terminación.
- La programación coloca los trabajos tan cerca como sea posible de fin del programa.

El objetivo de la programación según “la cadena crítica” es acortar los plazos de ejecución y con ellos la utilización de los recursos necesarios:

- La duración de las tareas se debe hacer sin incluir el tiempo para contingencias.
- Para las contingencias se prevén tiempos agrupados en “Buffer” o amortiguadores. Estos amortiguadores se incluyen en la programación de tal manera que queden incluidos en la cadena de forma que cubra una serie de tareas. Se integran los tiempos de contingencia de las tareas de una cadena para beneficio del conjunto y poder reducir el tiempo de contingencia.

En la figura 10 se mencionan los pasos a seguir en la programación de una parada de planta de acuerdo a la metodología desarrollada por TOC para la ejecución de proyectos

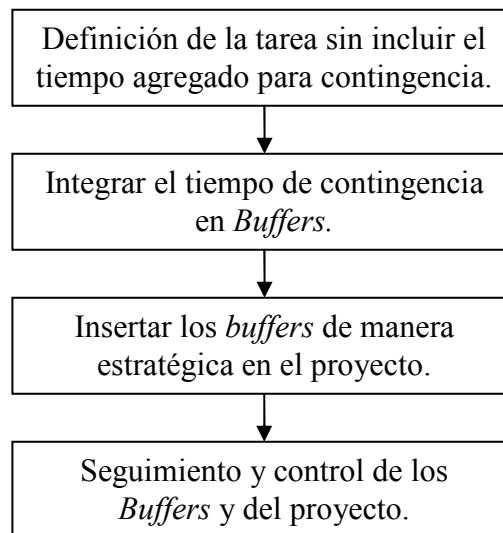
Durante la ejecución se hace seguimiento al uso de los amortiguadores y su posible reubicación o a la reasignación de recursos. Se debe hacer actualización frecuente de la ejecución del programa y hacer reprogramación dependiendo del consumo que se haga de los buffer por causa de cambios en el desarrollo de las tareas. La “cadena crítica” es la cadena más larga de tareas en que considerando la dependencia entre tareas y la dependencia de recursos se encuentra que una demora en disponibilidad de sus recursos o en su ejecución puede demorar todo el programa.

Los problemas mas frecuentes en la programación de parada de planta tienen que ver con la falta de identificación de la “cadena crítica” por falta de identificación de los objetivos y las prioridades, por tareas con tiempos asignados inflados o datos no acertados tomados de paradas anteriores de donde se toman tiempos de ejecución que incluyen las contingencias. En la programación se tienen problemas porque se presume que se cuenta con recursos humanos ilimitados que pueden

contratarse en un momento determinado y únicamente para la parada. Pero, con frecuencia el recurso humano no se consigue con la calificación que se desea, puede ser más costoso que el recurso interno, la calidad de los trabajos pueden no ser la esperada y hay problemas con la seguridad al introducir personal que no está familiarizado con la planta, equipos y procedimientos de trabajo. De igual manera, no se cuenta con todos los recursos que se quisiera como equipos y herramientas, pues mantenerlos permanentemente solamente para uso en las paradas es costoso.

Otra circunstancia cierta es que cuando se asigna a las tareas más tiempo del necesario, los trabajadores utilizan el tiempo que se ha programado, sobre todo si es personal temporal, pues les conviene trabajar el mayor tiempo posible. También incide en el alargue del tiempo de parada cuando no se conocen la prioridad de las tareas y se inician tareas que no lo son para luego interrumpirlas e iniciar las prioritarias, esto hace que se pierda tiempo en cada acondicionamiento para el arranque de una tarea. Debe fijarse un criterio de prioridad para las tareas, de tal manera que los recursos que se tengan se empleen primeramente en las tareas más importantes de las máquinas más críticas y si acaso queden trabajos pendientes sean de los equipos menos importantes para la operación o aquellas tareas que si no se ejecutan, no inciden en el buen desempeño del equipo o que pueden ser ejecutadas en una próxima parada.

Figura 10. Pasos para la programación de una parada de planta.



Debe de hacerse un buen alistamiento para la parada. Los técnicos y los supervisores de la parada deben conocer con anterioridad cada uno de los

trabajos que se van a ejecutar, los recursos que se requieren y su respectivo programa de trabajo.

Es conveniente una visita antes de la parada al sitio del trabajo para observar el equipo en funcionamiento y observar la falla que se va a corregir.

Si el trabajo de mantenimiento que se va a ejecutar es complejo o crítico, vale la pena redactar el procedimiento de ejecución en conjunto con los técnicos y luego tenerlo presente en todos los momentos de la ejecución.

Si se puede, hacer el alistamiento previo de conjuntos o equipos que se van a reemplazar de tal manera que en la parada solo sea necesario ejecutar el desmontaje y montaje pero no se requiera tiempo para reparar.

Debe aprovecharse también las paradas para hacer reformas necesarias a los equipos o instalaciones para que se facilite el cambio de componentes. Este tipo de trabajo permite agilizar reparaciones posteriores.

Durante la parada, debe hacerse un balance luego de cada jornada de trabajo para hacer al cronograma los ajustes que sean necesarios.

Estos conceptos expuestos deben ser claros para el director de la parada, de tal manera que sean ejecutados en su totalidad los trabajos importantes, de acuerdo a la prioridad fijada, en el tiempo previsto para la parada y no haya problemas para arrancar la producción en la fecha y hora previstas.

La parada se debe cerrar con la prueba de los equipos intervenidos, su entrega a Producción y la puesta en marcha nuevamente de las líneas de producción.

Luego de la parada, debe hacerse una reunión para evaluar el desarrollo de la misma y sacar enseñanzas. Deben revisarse los procedimientos de las tareas críticas para mejorarlos y hacer que los siguientes trabajos sean más exitosos. En esta reunión deben participar los supervisores de todos los grupos involucrados, tanto de personal directo como de contratistas.

Tan pronto termine la parada, debe hacerse la planeación y programación del mantenimiento de las partes y conjuntos retirados, de tal manera que estén listos para la siguiente parada, programada o no programada.

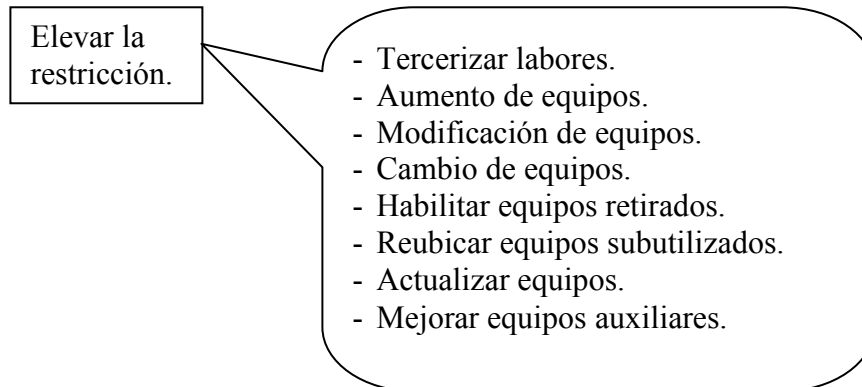
3.4 PASO 4: ELEVAR LA RESTRICCIÓN.

Como ya se había escrito, este paso implica elaborar y ejecutar un programa para mejorar el nivel de producción en el punto que se presenta la restricción.

Se trata de invertir en otros recursos para eliminar la restricción en ese punto, como tercerizar ciertas labores, aumento de equipos, modificación de equipos o cambio de equipos.

En la Figura 11 se enumeran algunas medidas para mejorar la capacidad de la planta superando la capacidad del equipo “cuello de botella”.

Figura 11. Paso 4 TOC



Nuevamente es clave la intervención de Mantenimiento para encontrar soluciones como habilitar equipos retirados de servicio y que pueden hacer parte del trabajo asignado al equipo que se ha encontrado es el “cuello de botella”.

Es importante, en empresas que cuentan con diferentes frentes de trabajo, que se tenga un listado centralizado de los equipos dados de baja o inoperantes en cada frente para que la totalidad de la organización conozca la disponibilidad y estado de estas máquinas y se evite adquirir recursos externos cuando se encuentran en la misma empresa. Mantenimiento puede encontrar equipos dentro de la planta, que están siendo subutilizados y pueden ser habilitados o reubicados para mejorar la producción.

Mantenimiento también puede trabajar en actualización del equipo con dispositivos que permitan mejorar la capacidad de trabajo de la máquina. También es importante que se difundan dentro de la empresa, tanto a nivel local como organizacional, las mejoras que se logra en alguna máquina para que sean implementadas en todas las máquinas similares que posee la organización. Este trabajo debe hacerse en un formato que permita ver el problema que se presentaba, la solución implementada y los resultados logrados. Si es necesario, acompañar el formato con un plano o esquema y con un listado de las partes utilizadas, con sus referencias y sus costos

Si finalmente no se cuenta con recursos dentro de la planta o en otros frentes de trabajo de la misma empresa, Mantenimiento debe participar en el rediseño de la

línea de producción y en la selección o fabricación de los nuevos equipos a ubicar en el “cuello de botella”. Vale la pena mencionar que estando ya la planta montada es posible que los planes de producción o las necesidades del servicio cambien. Con frecuencia se hacen cambios en los equipos de la línea de producción para acoplarse a nueva necesidad pero no se hace un análisis de todo el proceso de producción y menos de la planta en general. Es posible que esos cambios sobre la marcha resuelvan un problema puntual pero hagan que surjan otros problemas en otras partes de la línea de producción o de la planta. Por ejemplo, como resultado de las modificaciones, pueden surgir cambios en los requerimientos de energía o de líneas de conducción de la producción, llámense tuberías, líneas eléctricas o sistemas de bandas transportadoras. Mantenimiento está involucrada en todos estos cambios pues es quien recibe las solicitudes de trabajo de parte de producción y quien ejecuta los cambios, ya sea directamente o contratando a terceros.

Con el tiempo se llega a tener líneas de proceso o hasta plantas muy lejos de las especificaciones requeridas para una producción fluida y eficiente. De ahí surge la necesidad de que todos los cambios que se hagan en una planta sean sometidos a “Manejo del cambio”, es decir, que el cambio en la planta sea propuesto a una oficina de ingeniería, para mirar su viabilidad desde el punto de vista económico y de ingeniería y se analice si se requieren otras modificaciones dentro de la línea de producción o de la planta para cumplir con los nuevos requerimientos. También debe estudiarse si los cambios propuestos afectan otra parte del proceso o cambian las condiciones de funcionamiento de otros equipos.

De todos estos cambios deben quedar memorias de los cálculos económicos y de ingeniería, considerando no solo el equipo que se cambia sino toda la línea de producción a que dicho equipo pertenece.

Se deben también emitir nuevos planos con las modificaciones efectuadas.

Una vez efectuadas las modificaciones, deben darse las instrucciones necesarias al personal de operaciones para que la planta sea operada correctamente.

Debe instruirse al personal de mantenimiento tanto en el funcionamiento de la planta con las modificaciones efectuadas como en las nuevas necesidades de mantenimiento que hayan surgido.

Es necesario también, así no haya surgido un cuello de botella evidente, hacer, con alguna mediana periodicidad, un análisis profundo de la conformación de las diferentes líneas de proceso de la planta, en busca de mejoras de funcionamiento, ahorro de energía, disminución de mano de obra tanto de operaciones como de mantenimiento, y disminución de desechos que dañen el medio ambiente.

Con frecuencia, en un análisis de una planta con un tiempo largo en funcionamiento, se encuentra que algunos equipos de la misma planta se pueden reubicar para obtener mejoras, pues han variado las condiciones de operación o en emergencias se han colocado equipos de reemplazo de especificaciones superiores o menores a las requeridas y luego han continuado trabajando de una manera continua. Pero en un análisis de planta se puede encontrar que ese equipo puede desempeñar un mejor papel en otra parte del proceso y ubicar uno con las especificaciones correctas en el lugar del anterior, logrando mayor eficiencia de la planta en general y probablemente ahorros de energía.

Debe también analizarse la introducción de equipos de última tecnología que permitan mayor eficiencia, reducción de mantenimiento y disminución de costos en general. El período de tiempo para estas revisiones depende de la velocidad con que cambia la tecnología en el sector de la industria en que está la planta analizada.

Se debe ser cuidadoso en este análisis, pues antes que buscar tener lo último en tecnología, el objetivo es analizar si lo que se tiene cumple con las necesidades de producción que se tiene y sus costos de operación y mantenimiento permiten una utilidad razonable.

No hay que olvidar que nuevos equipos implica un aumento en el valor de los activos, es decir en el "inventario" y por tanto la rentabilidad disminuye si el margen operacional no aumenta proporcionalmente

Un principio muy importante a tener en cuenta, tanto en el trabajo de manejo del cambio, como en el de reingeniería de planta, es **que mejoras parciales no siempre significan mejoras totales**, es decir, que mejorar una parte de la línea de producción contribuya a la mejora del proceso de esa línea. Si en esa parte que se mejora no había problemas, la producción seguirá siendo la misma, los problemas seguirán siendo los mismos y ahora la inversión es mayor.

3.5 SI EN ALGUNO DE LOS PASOS ANTERIORES SE ROMPE LA RESTRICCIÓN VOLVER AL PASO 1

Seguramente, tan pronto se supere la restricción anterior, va a surgir un nuevo cuello de botella y habrá que iniciar de nuevo el proceso de identificarlo y hacer lo necesario para superarlo.

Mantenimiento siempre debe estar alerta al rendimiento de sus equipos de acuerdo a los requerimientos operacionales. Debe adelantarse a los problemas y trabajar permanentemente sobre mejoras y prevención de fallas. Debe analizar permanentemente también los resultados económicos del área de mantenimiento

y de las líneas de producción en general, buscando encontrar posibilidades de mejorar los resultados financieros.

4. LA TEORIA DE RESTRICCIONES Y LOS ASPECTOS ECONÓMICOS DEL MANTENIMIENTO

Las decisiones diarias de Mantenimiento inciden fuertemente en el Truput, los Gastos Operacionales y la Inversión, especialmente en el Inventario de instalaciones y equipos y también en los Gastos Operacionales. De ahí la importancia de que los directores de Mantenimiento tengan muy buen conocimiento de la operación que se realiza; de las utilidades que esa operación representa para la empresa y un conocimiento muy claro de los costos de la ejecución del Mantenimiento; de los costos de pérdida de producción por el tiempo tomado para la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo; y de los costos de los inventarios de la totalidad de equipos, repuestos e instalaciones de la Empresa.

4.1 INDICES FINANCIEROS DE TOC APLICADOS A MANTENIMIENTO

La labor de mantenimiento, siguiendo lo expuesto en TOC, debe estar enfocada a contribuir al mejoramiento de los índices planteados:

4.1.1 **Truput.** Mantenimiento no incide en el establecimiento del precio de venta de cada unidad producida, en la mayoría de las veces fijado por el mercado, ni en los costos variables, que para el caso de empresas manufactureras es la materia prima. Pero Mantenimiento si incide en la cantidad y calidad de unidades producidas por unidad de tiempo; Mantenimiento debe garantizar que se cuente con los equipos necesarios para la producción y que los productos cumplan con las especificaciones de calidad y no se desperdicie materia prima.

Un caso especial son las empresas de servicios de Mantenimiento en donde la unidad a facturar es la hora-hombre o una tarea, que previamente, para valorarla, se ha calculado en horas-hombre. En este caso el precio de la unidad producida, **P**, es el se haya establecido o contractualmente pactado con la empresa o persona que recibe el servicio y el costo totalmente variable, **CTV**, es el costo de la cantidad de horas-hombre que se utilicen realmente para prestar el servicio. Entonces, el CTV se incrementa si no se tiene una buena planeación y programación de los trabajos, si no se cuenta con buenas ayudas técnicas como herramientas, manuales y procedimientos, si los repuestos no están disponibles, si la dirección técnica y la supervisión no son las acertadas o si la mano de obra no cuenta con la capacitación y motivación adecuadas.

4.1.2 **Inventario.** En la teoría de restricciones este término no se refiere únicamente a inventario de materia prima, materia en proceso, producto terminado y repuestos sino también a todas las inversiones en maquinaria, equipos, edificios y muebles necesarios para que la empresa funcione.

En los inventarios, entendido como materiales y maquinaria, Mantenimiento tiene una amplia ingerencia. Algunos de esos aspectos se detallan a continuación:

- Inversiones en equipos. Mantenimiento tiene responsabilidad en las inversiones en equipos, maquinarias y bodega de repuestos. Estas inversiones deben ser las mínimas requeridas para mantener la producción y deben ser aquellas que optimicen los resultados de la Operación. Cuando se presentan restricciones el primer paso no es salir a comprar equipos de mayor capacidad para el punto en donde aparentemente se presenta la restricción sino hacer el análisis del sistema porque es posible que la restricción este en otra parte, o se encuentren políticas o procedimientos de operación que hagan que se forme la restricción. Entonces, es posible que se llegue a soluciones sin invertir en equipos extras. Pueden encontrarse también soluciones como la maquila, la contratación del servicio, el arriendo financiero o el aumento de turnos de trabajo o mano de obra temporal para resolver problemas de este tipo. De esta manera el capital utilizado es menor y mejoran los rendimientos financieros.
- Reparaciones o modificaciones de equipos. Mantenimiento también incide en el mayor valor dado a un activo cuando se hace una reparación mayor que alarga la vida del equipo o se hacen modificaciones o adiciones al equipo para mejorar su desempeño. Cada vez que se hace una reparación mayor debe hacerse un análisis económico similar a cuando se adquiere un equipo nuevo pues el mayor valor del inventario de equipos debe justificarse con un mejor ingreso operacional y una disminución del costo del mantenimiento. Debe recordarse que los equipos deben de llevarse a la capacidad que requiere la operación y no necesariamente a su capacidad de diseño.
- Preservación de los equipos. Mantenimiento cumple una labor muy importante en la preservación del valor de los activos durante toda su vida útil. Es de especial cuidado los equipos que por alguna circunstancia permanecen fuera de servicio durante largos periodos por no tener trabajo asignado. Esos equipos, luego de terminado su último trabajo deben ser sometidos a una limpieza y lubricación general para preservarlos y ubicarlos en el sitio adecuado de acuerdo al tipo de maquinaria. Con frecuencia, sobre todo en equipos utilizados en obras, una vez terminada la obra se almacena el equipo sin acondicionarlo para permanecer largo tiempo parado y entonces se deteriora por falta de lubricación y el efecto corrosivo de la humedad y los productos químicos con los que ha estado en contacto. Cuando nuevamente es requerido el equipo, los trabajos para llevarlo a condiciones operaciones son mayores y por tanto mas costosos.

Antes de almacenar el equipo debe hacerse un diagnóstico sobre su estado por parte de Operaciones y Mantenimiento. Este diagnóstico debe tenerse en cuenta cuando nuevamente se requiera y deba ser alistado.

Algo similar ocurre con los equipos que llegan al taller y por falta de recursos el trabajo queda suspendido y entonces se empiezan a tomar sus partes para utilizarlas en otros equipos y poco a poco van siendo desmantelados y luego es difícil recuperarlos. Cuando en un equipo se suspenden los trabajos por largo tiempo, los conjuntos que están desmantelados deben ser conservados en algún lugar destinado a ese fin pues si se dejan en el sitio de trabajo pueden ir desapareciendo. A las requisiciones de materiales para estos equipos debe hacerseles un seguimiento especial para que el equipo no termine abandonado.

- Almacenamiento de los equipos. También debe hacerse un correcto almacenamiento de los equipos que son dados de baja por terminación de su vida útil y se llevan a algún patio para luego ser vendidos. El valor de venta dependerá de su estado y por tanto deben protegerse contra la inclemencia del medio ambiente para evitarles daños mayores. Los equipos deben conservarse con todos sus elementos, no ser desmantelados y, si es posible, ponerlos periódicamente en funcionamiento para evitar que se peguen o vayan perdiendo sus funciones.
- Alquiler de equipos o servicios. Las empresas tienen recursos para bajar este inventario como contratar servicios de maquila y alquilar maquinaria cuando se presentan picos de producción o se trata de equipos necesarios en la operación pero de uso puntual. En este caso, la inversión y la responsabilidad del mantenimiento es del contratista y el contratante no tiene que mantener un almacén de repuestos.
- Acuerdos con proveedores. Otra posibilidad de bajar inventarios de repuestos es hacer acuerdo con proveedores para que los materiales o repuestos permanezcan disponibles o en consignación pero solo sean facturados en el momento en que se retiren del almacén. El proveedor de repuestos debe garantizar un mínimo de inventario fijado por el contratante y una respuesta ágil en caso de requerirse sus repuestos. Se pueden hacer acuerdos con base a listado de precios del fabricante. Seguramente el proveedor puede mantener un stock para varios clientes y de esta manera tener unos costos bajos de administración.
- Sustitución de importaciones. Una posibilidad importante para contar oportunamente con materiales y a un buen precio es fomentar la sustitución de repuestos importados por repuestos de fabricación nacional. Para esto se requiere formar fabricantes locales que cumplan con los requerimientos de calidad y entrega oportuna.
- Almacén de materiales adecuado. Mantenimiento es responsable del valor de las existencias de repuestos que hay en el almacén y por tanto debe hacer análisis frecuentes de la bodega de repuestos. El departamento de Materiales

debe emitir reportes periódicos en donde se analice el valor total y por clases de los repuestos en bodega, crecimiento del almacén, su rotación y análisis de aquellos materiales llegados al almacén y que no se les haya dado uso. La gerencia de Mantenimiento debe tener en existencia solo los materiales que se justifiquen de acuerdo a análisis de la criticidad de los equipos y aquellos repuestos que están disponibles para reparaciones programadas. Mantenimiento debe estar atento a depurar la bodega de aquellos materiales que llegan a ser obsoletos porque la máquina a que corresponden sale de servicio o son materiales sin rotación o que por alguna circunstancia no corresponden a ninguno de los equipos en servicio.

- Conjuntos de respaldo en almacén. Un caso que se presenta con frecuencia es reparar conjuntos o partes de equipos para mantenerlos en bodega como repuestos disponibles. Debe haber una tendencia a mantener conjuntos reparados en lugar de mantener repuestos sueltos ya que se facilita luego la labor de mantenimiento y se pierde menos tiempo en las reparaciones. En estas reparaciones se presentan consumo de mano de obra, materiales y servicios contratados. El valor de ingreso de este bien a la bodega, desde el punto de vista TOC, es el valor de los repuestos empleados y los servicios externos contratados. La mano de obra propia y el uso de otros recursos propios son gastos previstos para el periodo presente y no deben ser trasladados a mayor valor del inventario para luego ser cargados en periodos futuros, generando utilidades aparentes en el periodo presente.
- Equipos de respaldo en almacén. Otro caso frecuente es la reparación de equipos para mantenerlos de reserva y no para un uso inmediato. Si la estrategia de mantenimiento lo justifica, el hacer la reparación no requiere de análisis adicional. Pero si el equipo se repara simplemente porque hay mano de obra disponible, hay que tener en cuenta que los costos de repuestos que no estén en el almacén de la empresa y los servicios externos contratados van a ser un costo que se carga al activo y por tanto aumenta el valor de los inventarios de la empresa sin producir Truput y por el contrario, aumentando las salidas de dinero. En este caso es mejor preservar el activo para que no se deteriore y esperar el momento oportuno para hacer esa inversión.

El costo financiero y operativo de la bodega de repuestos es un costo de mantenimiento y por tanto debe ser cargado a los costos de funcionamiento de la gerencia de Mantenimiento. Este es un costo a considerar pues con frecuencia los costos de pedir, mantener repuestos en almacén y de obsolescencia son representativos y vale la pena ser considerados en busca de alternativas más económicas sin deterioro del servicio.

4.1.3 Gastos de funcionamiento de la gerencia de Mantenimiento. Gastos de funcionamiento es todo el dinero que el sistema gasta para convertir la inversión en Truput. Todos los costos de salarios, desde el Director general hasta la mano de obra directa, arrendamientos, servicios públicos etc. TOC no clasifica los costos en directos, indirectos, fijos y variables. Los gastos

de funcionamiento son todos aquellos que no son variables. De acuerdo con la fórmula de TOC, los gastos de mantenimiento hacen parte de los gastos operativos. Dependiendo del tipo de industria los gastos directos de mantenimiento pueden ser un buen porcentaje del total de los gastos operativos y por tanto su control, su presupuesto, ejecución y control deben ser cuidadosos. Para poder hacer estas labores, es necesario definir cada una de las cuentas contables en que van a ser cargados los costos y se requiere luego un cuidadoso trabajo por parte de la contabilidad para cargar los costos de acuerdo con los conceptos definidos y así los análisis que se hagan partan de bases ciertas.

A continuación se hace un análisis comparativo entre la contabilidad de costos tradicional y la contabilidad según TOC para encontrar las diferencias que se presentan a partir de los conceptos enunciados en el párrafo anterior.

4.2 LOS GASTOS DE MANTENIMIENTO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CONTABILIDAD DE COSTOS TRADICIONAL

Se dividen en unos gastos generales y unos gastos directos de cada orden de trabajo abierta cuando un equipo es sometido a mantenimiento. Los gastos generales son todos los costos administrativos del mantenimiento y gastos asignados de otras áreas administrativas. Estos gastos son prorrateados entre los diferentes equipos de acuerdo al costo directo de sus órdenes de trabajo en un período de tiempo.

4.2.1 Gastos generales. Los principales gastos generales de la gerencia de Mantenimiento, son los siguientes:

- ❖ personal administrativo, que comprende todo el personal de dirección, personal de planeación e ingeniería y celaduría.
- ❖ Costos de manejo de repuestos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- ❖ Servicios públicos como agua, luz, teléfono, gas, servicio de comunicaciones.
- ❖ Costo de instalaciones como arriendo y mantenimiento de las mismas.
- ❖ Costo de equipos de soporte como máquinas-herramientas, grúas, montacargas, equipos de lubricación y otras máquinas especiales.
- ❖ Costo de herramientas manuales de uso general.

4.2.2 Gastos directos. En la contabilidad tradicional los gastos imputables a cada orden de trabajo son:

- ❖ Repuestos y materiales.
- ❖ Servicios contratados.
- ❖ Costo de la mano de obra de los técnicos asignados a ese trabajo.
- ❖ Costo de herramientas manuales y otros equipos asignados a los técnicos.

Los costos de mantenimiento son cargados, por medio de las Órdenes de trabajo, a los diferentes centros de costos de producción. Es decir, los costos del mantenimiento se distribuyen entre sus “clientes internos”. Por medio de la orden de trabajo se registran los costos en que se incurre en cada reparación y por eso es indispensable abrir ordenes de trabajo para cada intervención que se realiza y registrar los costos en que se incurre y su descripción. Hay costos que son fáciles de registrar con exactitud como son los materiales y los servicios contratados pero otros como las herramientas y la mano de obra, en el sistema de costos tradicional, se hacen de acuerdo a tarifas prefijadas y las cifras de la contabilidad no coinciden nunca con los costos anotados en el sistema de mantenimiento porque es imposible tener en cuenta en el costeo de la tarifa todas las novedades que se presentan luego en el uso de estos recursos como el tiempo ocioso, incapacidades, permisos remunerados y además, los rendimientos presupuestados no coinciden exactamente con los que se tienen durante la ejecución. Esto lleva a tener cifras diferentes entre la contabilidad y los sistemas de control de costos de mantenimiento y a tener que hacer ajustes finales en el sistema de mantenimiento.

4.2.3 **Gastos diferidos.** En la contabilidad tradicional se utiliza el “diferir” costos grandes para suavizar los costos del mantenimiento en el tiempo. Para mayor claridad en la administración de los costos de mantenimiento es mejor visualizar los picos de costos en el momento en que ocurren para de igual manera hacer los análisis respectivos.

4.2.4 **Reparaciones mayores.** De otra parte se presentan las reparaciones mayores que son llevadas a libros como un mayor valor del activo y que pasa luego a ser depreciado en el tiempo. Para mantenimiento, con miras a tener datos reales para hacer el análisis de costo de ciclo de vida de un activo, es mejor conocer el valor exacto de la reparación y las fechas de su ejecución.

4.3 LOS GASTOS DE MANTENIMIENTO SEGÚN LA CONTABILIDAD DEL TRUPUT

La meta de la contabilidad debe ser proveer información a la gerencia para tomar las decisiones necesarias con el fin de guiar la empresa hacia su objetivo que es lograr una buena Utilidad neta y un buen Retorno sobre la inversión. Esa

información debe ser oportuna, clara y actualizada. Es decir, debe estar a la mano de los gerentes, en nuestro caso el de Mantenimiento.

4.3.1 Información centralizada y unificada. Para tener una contabilidad del Mantenimiento que cumpla con estas características los datos que se registren en el sistema de mantenimiento deben ser los mismos que se reflejen en la contabilidad de costos e igualmente la información que se registre en la contabilidad de costos debe ser igual a la que tiene en su sistema la Gerencia de mantenimiento. Para lograr este objetivo lo ideal sería tener enlazados los sistemas de mantenimiento, materiales y contabilidad, para hacer una sola digitación de datos y evitar errores. Pero si esto no es posible en el momento actual de la empresa porque tiene sistemas diferentes para el manejo de la contabilidad y Mantenimiento hay que definir qué tipo de información contable se maneja en el sistema de Mantenimiento y luego se traslada por medio de una interfase o manualmente al sistema de contabilidad. Los registros de Almacén deben manejarse en el mismo sistema de mantenimiento para poder contar con información en línea tanto para la planeación de los trabajos como para el costeo de las Órdenes de trabajo. Una condición importante para tener controlado y asegurado el mantenimiento de la empresa es tener sistemas de información de contabilidad y mantenimiento funcionando de una manera correcta y que se cuente con buen control de programación y control de los costos del mantenimiento.

4.3.2 Información simplificada. La Teoría de Restricciones tiene como principio que la información debe llevar a unos pocos indicadores que nos permitan tomar decisiones sobre las cuestiones más importantes de cada área. Otro principio es que no se debe dividir o prorratear los costos cuando no se requiere, ya que se presta para distorsiones del valor de los costos. De acuerdo con esto, algunos de los costos del mantenimiento que no varían con la cantidad de trabajo y se mantienen relativamente fijos, no se deben tratar de distribuir y se deben mantener como una sola partida correspondiente a la gerencia de Mantenimiento, tanto en el presupuesto como en la contabilidad. Otros costos que son efectuados puntualmente, y son fácilmente identificables a qué equipo corresponden, deben ser cargados al centro contable de ese equipo.

4.3.3 Costos fijos. En el primer caso, se tienen los costos administrativos del mantenimiento o gastos generales y los gastos de dirección y supervisión del mantenimiento. La contabilidad de costos tradicional ha tratado de dividirlos y asignarlos a los equipos tomando como medida algún parámetro, casi siempre el porcentaje de horas-hombre empleadas en su mantenimiento. No vale la pena tratar de dividir los costos administrativos de Mantenimiento en la cantidad de órdenes de trabajo que se ejecutan, porque realmente la cantidad de órdenes ejecutadas no influye en la

variación de su monto o es muy difícil de determinar la responsabilidad en los costos administrativos de cada una de ellas. No se deben tratar de convertir en costos directos los costos que en definitiva no lo son. Se trata de no hacer complejo lo que no se requiere y mantenerlo simple, que es como se da en la realidad.

En muchos casos, en las plantas se mantiene un personal fijo de técnicos y su costo no es “totalmente variable” con la cantidad de órdenes de trabajo ejecutadas.

Hay otros costos que son puntuales como compra de herramientas o equipos especiales para la ejecución del mantenimiento.

Otros costos son pequeños o difíciles o dispendiosos de distribuir como los costos de materiales “consumibles” o que se usan en varias órdenes de trabajo como pegantes, lijas, brocas, tortillería de menor valor, elementos de limpieza etc.

4.3.4 Costos variables. Hay otros costos que si son totalmente variables como los materiales, mano de obra contratada para uso en una determinada orden de trabajo y los servicios externos contratados. Estos costos deben ser cargados a la Orden de trabajo respectiva.

Para la gerencia de Mantenimiento no es necesario conocer en detalle a qué órdenes de trabajo se asignan los costos de materiales “consumibles”. En cambio si requiere conocer el monto total de materiales consumibles usados en un mes por cada área de mantenimiento. Tampoco cuánto se carga por herramientas a cada orden de trabajo pero si desea conocer los costos puntuales de herramientas que se hacen. Entonces. Estos costos no deben ser presentados en cada orden de trabajo, sino como costos globales directos por cada área de mantenimiento. (Mecánica, soldadura, pintura, electricidad etc.).

El costo que presenta mayor dificultad de manejo es el de la mano de obra de los técnicos fijos en la empresa. Su costo real se conoce en el área que elabora la nómina y carga todos los costos adicionales como prestaciones legales y extralegales y parafiscales. El almacén carga los costos de dotación y elementos de seguridad. En la contabilidad tradicional el área de Mantenimiento, por lo general hace un costeo de las horas de los técnicos de acuerdo a su especialidad y con este valor alimenta su sistema para que a medida que carga la mano de obra usada por cada orden de trabajo, su sistema le totalice el valor cargado. Sin embargo las horas pagadas por nómina no coinciden, por múltiples causas, con las horas cargadas a las órdenes de trabajo en el sistema de mantenimiento y menos coincide el valor totalizado por el sistema de mantenimiento con el reportado por contabilidad. Algunas de las causas de estas diferencias es que

parte del tiempo de los técnicos se emplea en reuniones de seguridad, capacitación, permisos remunerados, aseo personal, incapacidades etc.

TOC habla de no controlar lo incontrolable ni tratar de dividir los costos sino describir cómo se presentan. La solución más fácil es considerar el valor total de la mano de obra de los técnicos como un valor total de los costos del mantenimiento. En la elaboración de la nómina este dato se puede tener por tipo de profesión o por áreas, si existe la asignación, pero no por órdenes de trabajo y menos por equipo atendido. Pero por otra parte, la gerencia de Mantenimiento quisiera conocer otros datos acerca del uso de la mano de obra como:

- mano de obra empleada versus mano de obra disponible.
- Costo de mano de obra empleada en reparaciones mayores. (para el cálculo del costo de ciclo de vida de cada equipo.
- Porcentaje de mano de obra por áreas de la empresa.
- Porcentaje de mano de obra empleada en mantenimiento preventivo y correctivo.

Una propuesta es llevar el control de la cantidad de horas empleadas en los servicios de los equipos sin colocar valor a estas horas y hacer los respectivos cuadros comparativos de horas disponibles contra horas realmente usadas en el mantenimiento y su uso por áreas de trabajo, profesión o tipo de mantenimiento. Las horas empleadas en los reportes deben ser las realmente utilizadas en las labores directas sobre los equipos o en tareas relacionadas con el trabajo como inspecciones y alistamientos

En cuanto a costos, no vale la pena llevar el costeo de la mano de obra de cada una de las órdenes de mantenimiento preventivo o correctivo menor ya que de todas maneras la empresa debe contar con un personal de soporte para estas labores y con los reportes mencionados en el párrafo anterior, es posible conocer tomar las decisiones administrativas que se requieren. El costo de mano de obra de mantenimiento se reporta como un costo global, de acuerdo a los centros de costos que se lleven en la elaboración de la nómina. No vale la pena tratar de dividir al máximo el valor de la mano de obra, cuando luego al totalizarla su valor no se asemeja al real.

La mano de obra de las reparaciones mayores u overhauls si debe ser tenida en cuenta para poder hacer análisis de los costos de ciclo de vida. Estos trabajos normalmente son largos y se les asigna personal de dedicación completa, por tanto no es dispendioso controlar la cantidad de horas empleadas en esta labor. Además, las órdenes de mantenimiento correctivo mayor deben ser un porcentaje menor del total de órdenes de trabajo. El valor de la hora-hombre puede ser calculado por contabilidad teniendo en cuenta los gastos en nómina de cada

oficio, dividido por el número de horas de los técnicos de ese oficio, realmente usadas en mantenimiento. El dato de nómina es un dato contable y el número de horas utilizadas es un dato que suministra el sistema de Mantenimiento. El costo resultante de la mano de obra empleada en el overhaul, puede ser trasladado contablemente de los gastos generales de mantenimiento a los costos del mantenimiento de ese equipo. Este valor debe ser registrado también en la hoja de vida del equipo en el sistema de mantenimiento. Con esta información, es posible calcular el costo de ciclo de vida del equipo.

De esta manera, los costos contables y los registros llevados en el sistema de mantenimiento, son los mismos, ya que materiales y servicios externos son cargados con el valor real en ambos sistemas de información.

Los materiales “consumibles” y las herramientas menores también son cargados directamente como valor global al mantenimiento de cada área o como un todo, a los gastos operativos de la gerencia de Mantenimiento.

4.3.5 Gastos indirectos. Hay otros gastos que en la contabilidad tradicional no son cargados a Mantenimiento pero de acuerdo con la filosofía de la Teoría de Restricciones, si son causados por la gestión del mantenimiento, deben ser cargados a esa gerencia para poder conocer todo el impacto de su gestión. Esos gastos son:

- Gastos operacionales durante paradas no programadas y causadas por problemas de mantenimiento.
- Multas y sanciones acarreadas por esas paradas.
- Gastos administrativos y financieros del almacén de repuestos.
- Alquiler de equipos sustitutos para reemplazar los averiados por problemas de mantenimiento mientras se reparan.

4.4 ESTRUCTURA DE GASTOS DE MANTENIMIENTO DE ACUERDO A TOC

Resumiendo lo expuesto:

1. el gasto total de la gerencia de Mantenimiento está compuesto de la siguiente manera:

Gastos de mantenimiento=gastos Adm.

+Mant+consumibles+herramientas+ gastos operacionales durante paradas no programadas+multas y sanciones+gastos Adm. Y financieros del almacén de rptos+ gastos totalmente variables de las O.T. (rptos y

servicios contratados)+ Alquiler de equipos sustitutos.

2. De estos gastos, los únicos que se llevan a las órdenes de trabajo de cada equipo, son los totalmente variables.
3. Los gastos de la gerencia de Mantenimiento, se registran en el sistema de mantenimiento en el momento en que ocurren. Si fiscalmente se estima que hay que diferirlos, ese trabajo se hace en el sistema contable.
4. Los costos de los trabajos de reparaciones generales, si el desgaste está dentro de lo previsto de acuerdo con el uso, se llevan a mayor valor del activo para luego ser depreciado y la depreciación cargada a la Operación. Si el desgaste es prematuro por una mala operación o accidentes, se carga a los gastos de la respectiva área de producción.

Si la gerencia de Mantenimiento tiene todas estas cifras, podrá dimensionar el impacto de su gestión y direccionarla hacia el punto en donde reduzca los costos y aumente los ingresos de la empresa.

El tener claro estos valores le permitirá a la gerencia de Mantenimiento hacer análisis económicos de las mejoras que implemente en sus programas de mantenimiento para mejorar la confiabilidad de las líneas de producción, especialmente de los equipo cuello de botella y del que se vaya convirtiendo en tal. Estos programas deben lograr:

- Aumentar el tiempo entre fallas, MTBF, del equipo cuello de botella.
- Reducir la cantidad de reparaciones mayores del equipo cuello de botella y su duración.
- Reducir el tiempo para restaurar la máquina cuello de botella cuando falla.

Si el valor del trput logrado en el tiempo total de disponibilidad del equipo es mayor que los costos de implementar las mejoras en el mantenimiento, se debe aplicar las mejoras propuestas. Hay que tener en cuenta que el trput mejora al disminuir los gastos del mantenimiento, considerados “gastos de falla”, como también los gastos operacionales durante el tiempo de parada, multas o sanciones, consumo de repuestos y servicios directos de las reparaciones.

Hay otros gastos, que en la contabilidad de costos no se cargan a Mantenimiento pero en los cuales tiene ingerencia como son los gastos en energía, ya sea eléctrica o combustibles. En la mayoría de las plantas y en la maquinaria de construcciones el costo de este rubro es representativo y quien debe conocer si los consumos están dentro de los parámetros es el área de Mantenimiento. Por

ello, a pesar de no ser un gasto a su cargo, debe poder conocer estadísticas que le permitan detectar consumos anormales y corregir los equipos.

Podemos concluir, que debido a su importancia, el área de Mantenimiento, fuera de los índices que permiten evaluar su labor técnica, debe llevar unos índices económicos que dejen ver su contribución a la gran meta de la empresa, **producir dinero ahora y en el futuro**. Estos índices son tan importantes como los índices técnicos porque no se puede concebir grandes logros en los índices técnicos si no se tienen en los económicos e igualmente al contrario.

4.5 ÍNDICES ECONÓMICOS PARA MEDIR LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

El primer paso para entrar a definir unos índices para la gestión de mantenimiento es tener claro que cualquier parte de la organización debe ser juzgada sobre su impacto sobre los propósitos globales de la empresa y el principal objetivo de una empresa comercial es producir dinero, con un buen retorno sobre la inversión.

En el caso de mantenimiento sus funciones principales son:

- Analizar la adquisición de equipos, teniendo en cuenta su capacidad de producción, su manteneabilidad, los costos del ciclo de vida y los impactos de su comportamiento en los costos e ingresos de la empresa.
- Participar en el diseño, construcción, montaje de los equipos y puesta en marcha.
- mantener disponibles y confiables los equipos en el momento que son requeridos por las líneas que están o van a entrar en producción.
- garantizar que los equipos tengan la capacidad requerida por la producción.
- restituir rápidamente la capacidad perdida por las máquinas que están en producción.
- Preservar los equipos que no están en producción y serán necesarios en un proceso posterior o van a ser vendidos.

Estas funciones debe realizarlas Mantenimiento a unos costos que no solo permitan producir dinero sino también sean razonables para que el consumo de ese dinero que ingresa permita una buena utilidad para la empresa.

Un gasto registrado es una cifra que refleja una gestión en un momento dado. Estas cifras pueden ser inferidas para conocer un desempeño en un período de tiempo. Ahora, estas cifras deben ser comparadas con otras para poder determinar si su desempeño ha sido bueno o malo o encontrar oportunidades de mejora. Los datos brindados por el análisis de costos deben servir tanto para

evaluar la gestión interna de Mantenimiento como también para comparar la inversión en mantenimiento con los resultados operativos de la empresa.

La idea de lograr una información en un sistema de Mantenimiento no es solo obtener cifras técnicas de la gestión de mantenimiento para conocer unos índices del comportamiento de los equipos, partes o sistemas intervenidos con frecuencia y causas de las fallas sino también tener cifras de lo gastado en los diferentes rubros, y conocer una distribución de costos que nos permitan tomar decisiones técnicas y administrativas para mejorar la labor de mantenimiento.

Deben entonces, en el sistema de mantenimiento y en el contable, poderse agrupar los costos en cuentas tales como:

1. plantas, fábricas u obras de construcción
2. frentes de trabajo.
3. Sistemas o bloques de la planta.
4. Cada uno de los equipos importantes.

También, para cada una de las distribuciones anteriores, debe poderse agrupar la información en el sistema de Mantenimiento, de acuerdo a conceptos tales como:

- Falla
- Causa de falla.
- Clase de trabajo (preventivo, predictivo, correctivo)
- Oficios y especialidades.

En realidad, la profundidad de los informes debe llegar hasta donde sea fácil y práctica la recolección, agrupación, procesamiento y análisis de los datos. No debe convertirse la recolección y procesamiento de datos y elaboración de informes en una tarea que ocupe buena parte del tiempo del personal técnico y administrativo. Debe partirse del análisis de las plantas o frentes de trabajo y en la medida que se avance en el análisis, entrar a mirar las líneas de mayor impacto en el trput de la empresa y de los equipos que en ellas son los cuellos de botella que causan las restricciones.

Con el mismo criterio, debe implementarse la forma de conocer los tiempos perdidos por cada planta o línea de producción y los tiempos para reparar y poner de nuevo los equipos en línea. Con estas bases, se pueden obtener índices técnicos como:

- Disponibilidad
- Confiabilidad.
- Manteneabilidad.

La No disponibilidad del equipo hay que traducirla en dinero. Los costos de la “No disponibilidad” deben tenerse identificados y cuantificados para encontrar el impacto de una estrategia de mantenimiento mal concebida o mal planeada o programada, o mal ejecutada.

Como se había mencionado, cuando los equipos tienen trabajo programado pero por alguna circunstancia se paran, se continúa con todos los gastos de funcionamiento y producción, a excepción de la materia prima y probablemente, algún costo de energía. Es decir, deja de ingresar el Truput correspondiente a las unidades dejadas de producir y se continúa con todos los gastos de la empresa, a excepción de los gastos totalmente variables. Si se mide este impacto económico del Mantenimiento, se tendrá una mayor claridad de la estrategia de mantenimiento a implantar.

Es importante distinguir si la causa de la falla se da por una mala operación o por un mantenimiento deficiente. Con frecuencia se encuentran fallas debidas a operaciones indebidas y en ese caso, tanto los gastos de la empresa durante el periodo de parada como los gastos de mantenimiento para reestablecer los equipos a sus condiciones operacionales deben ser medidos y cargados a la gestión de la gerencia de Producción.

Caso distinto es si no hay producción programada y se aprovecha esos tiempos muertos para hacer mantenimiento.

Se debe tener claro el tipo de producción programada en la línea o equipo que queda parado, pues el impacto es el Truput dejado de producir y los gastos que continúan es diferente para cada producto. Como es bien sabido, no todos los productos dejan el mismo Truput.

En algunos casos, el impacto de la parada de producción por falla de los equipos llega también a consecuencias como penalizaciones económicas. En otros casos se presenta pérdida de pedidos de producto; o de despacho del equipo para entrar en producción, si el servicio se les presta a usuarios externos.

Desde el punto de vista TOC, el análisis debe ser exhaustivo para aquellas líneas que generan el mayor Truput de la empresa y dentro de esas líneas, los equipos que son cuello de botella pues precisamente ahí es donde hay oportunidades de mejora. Cuando se tiene información de los índices técnicos y de los costos, se puede ver los equipos sobre los que hay que actuar para mejorar el rendimiento de la planta y disminuir los costos del mantenimiento y mejorar la producción y por tanto el Truput. Esta claridad sobre qué actuar, se tiene si se ha logrado reunir una cantidad de información que nos permita encontrar la causa de las fallas más frecuentes, que han causado la mayor pérdida de tiempo de producción y los mayores costos de mantenimiento.

Si se conoce, el impacto real del mantenimiento en la generación de Truput de la planta y en los costos de operación, es posible tomar las mejores decisiones para enfocar los esfuerzos y recursos de la gerencia del Mantenimiento. Se puede optimizar el uso de recursos como mano de obra disponible, materiales en bodega y servicios técnicos especializados.

Los planes de Mantenimiento deben tener medidas tangibles en el aspecto económico al mejorar la efectividad de los procesos en cada línea de producción y disminuir sus propios costos.

De acuerdo con TOC, los indicadores que permiten conocer el desempeño de una empresa son y si está ganado dinero, son:

- La utilidad neta
- El rendimiento sobre el capital invertido.
- El flujo de caja.

Como ya estaba definido, dentro de la Teoría de Restricciones, los índices económicos a tener en cuenta son los siguientes:

Utilidad Neta (UN) = T-GO

Rendimiento de la Inversión (RDI) = (T-GO)/ I

En realidad, Mantenimiento no tiene a su cargo el cálculo de estos índices globales de la empresa, pero si debe analizar el impacto que sus decisiones tienen sobre estos valores. Entonces, debe hacer análisis parciales del impacto que tiene sus decisiones. Si la utilidad neta es positiva y el RDI está por arriba de un valor estimado, la decisión que se está tomando es buena.

Por lo general, Mantenimiento pareciera no tener mucha ingerencia en el Truput pues este se incrementa si se vende una mayor cantidad de producto o se aumenta su precio. Pero si mantenimiento ofrece una mayor disponibilidad y capacidad de los equipos, especialmente los críticos y una mayor calidad de los productos obtenidos, su peso es grande en mejorar el Truput. También tiene una buena responsabilidad en los gastos operativos (GO) y en la Inversión (I). En un capítulo anterior se identificaron y analizaron los componentes del gasto de Mantenimiento y se analizó también la ingerencia de Mantenimiento en las Inversiones, ya sea en adquisición de equipo adicional, equipo de reemplazo o en la ejecución de trabajos mayores capitalizables. Ahora se pretende mirar como utilizar los índices económicos de TOC para tomar las decisiones mas acertadas desde el punto de vista económico. Tomar una decisión errada en el reemplazo, compra o reparación mayor de equipos, trae consecuencias económicas pues se

pueden disminuir los ingresos correspondientes a la línea de producción a que pertenece este equipo.

4.5.1 Análisis de Inversión en equipos.

Cualquier inversión en equipo debe llevar a un aumento de la utilidad neta y a un aumento en el RDI. Esto se logra si la nueva máquina se instala en un cuello de botella y produce una mayor cantidad de unidades con unos costos operativos bajos por unidad con respecto a los actuales.

Los costos de una maquinaria, que se cargan a los gastos operativos, son: el costo de adquisición del equipo (incluye inventario de repuestos a mantener en almacén), el costo de operación (incluido mano de obra, capacitación y energía) y el costo de mantenimiento preventivo y correctivo. Cuando se desea reponer, reparar o adquirir equipo hay que tener en cuenta el costo del ciclo de vida de cada una de las alternativas que se tienen. Además, hay que agregar a estos costos, otros costos en que se incurre en caso de parada como los costos operativos que se dan pesar de no haber operación de la línea a que pertenece el equipo y las sanciones que se reciben o costos de alquiler o mantener equipos de reemplazo. Se debe tener también en cuenta el truput generado por cada una de las opciones en los diferentes periodos. Si se tienen claros estos valores para los diferentes periodos de la vida de las diferentes alternativas, se podrá tener un cuadro de las diferentes alternativas con los valores del Ingreso, Truput, Gastos operativos y calcular la Utilidad neta y el Rendimiento de la inversión. Si se trata de un análisis de una inversión a mediano o largo plazo, las cifras de los egresos e ingresos de cada periodo se pueden llevar a un Valor presente neto o encontrar la tasa interna de retorno para tomar una decisión acertada.

Con frecuencia las decisiones de compra de equipo se toman con base en el valor de adquisición inicial y no se tienen en cuenta los demás costos en que se va a incurrir a lo largo de la vida del equipo. En otras ocasiones se compra simplemente el equipo que está al alcance del poder adquisitivo de la empresa. También se presentan casos en que se opta por reparar un equipo en lugar de reemplazarlo porque el costo de la reparación es menor al de adquisición de un equipo nuevo pero sin tener en cuenta la ineficiencia o posibles paradas del equipo viejo. La decisión que se tome con base únicamente en estos criterios de pronto no es la más acertada.

Las empresas deben tener todas las cifras que le permitan visualizar los ingresos y egresos durante la vida del equipo para poder predecir el Truput, los gastos operativos y el retorno sobre la inversión de cada una de las alternativas. Con estas cifras es posible encontrar un valor para cada periodo, años por ejemplo, y encontrar el costo anual equivalente (CAE). Con las cifras de cada periodo, se puede conformar una curva para cada alternativa y visualizar la mejor solución.

Un análisis sencillo para un periodo se puede hacer a partir de la fórmula de UN y RDI. Al considerar las diferentes alternativas deben seguirse los siguientes pasos:

1. **Cálculo de Truput para cada alternativa.** es encontrar la cantidad de unidades producidas con cada una de ellas en el punto cuello de botella y con ellas el Truput producido por cada una de ellas. Hay que tener en cuenta la disponibilidad y calidad de producción de cada una de las alternativas para calcular el número de unidades producidas. Si el equipo no es cuello de botella, el cálculo debe hacerse no por la cantidad de unidades que produce el equipo a comprar sino por la cantidad de unidades que aumenta la cadena de producción a que pertenece.
2. **Cálculo de GO para cada alternativa.** Si los gastos de mano de obra de operación y mantenimiento preventivo son los mismos para todas las alternativas, por ser gastos fijos de la planta, no vale la pena tenerlos en cuenta. Seguramente sí hay otros gastos que varían, como el consumo de energía, repuestos, servicios contratados para mantenimiento, multas en caso de paradas y costo de equipos de reemplazo, ya sean contratados o propios. La depreciación también va a variar por el valor de cada alternativa y los años de vida esperados. Una discusión que se puede presentar es el valor a darle a un equipo que está en planta y se puede reparar. Hay la alternativa de tomar el valor en libros o el valor comercial teniendo en cuenta el estado en que se encuentra, más el monto de la reparación. Esta segunda alternativa parece más lógica si se quiere comparar valores reales.
3. **Cálculo de la utilidad neta UN.** Con el valor del truput esperado de acuerdo a la proyección de ventas y los costos presupuestados para cada alternativa, se puede encontrar la Utilidad neta esperada para cada una de ellas.
4. **Cálculo del retorno de la Inversión RDI.** Con el valor de la inversión, este valor es fácil de calcular. Con los valores del RDI y UN se tienen unas buenas bases financieras para tomar decisiones de reposición de equipos entre diferentes alternativas o reparar el equipo con que se cuenta.

Seguramente hay que tener en cuenta otros aspectos como la proyección de la producción de la empresa y posibles cambios de exigencias del mercado, cambio de tecnología, facilidades de asistencia técnica y consecución de repuestos. Pero de todas maneras el cálculo financiero desde el punto de vista de la Teoría de restricciones es sencillo y fácil de entender. Sin este análisis no se deben tomar decisiones sobre adquisición de equipo o reparaciones mayores.

4.5.2 Índices económicos del mantenimiento durante la operación.

En cuanto a total de los gastos operativos del mantenimiento de la empresa, frente de trabajo o línea de proceso, con frecuencia se usan los siguientes indicadores:

- %Costo mantenimiento/costo de la operación.
- %costo del mantenimiento/costo unidad producida.
- Costo por unidad producida.

Estos indicadores nos dan unos valores que hay que comparar con los mejores valores de la industria (benchmarking). Si no se tiene un punto para comparar, no se sabe en que situación se está y si la gestión, tanto de mantenimiento como de operaciones, es eficiente. Es clave que los costos de mantenimiento como de operaciones se definan muy claramente y de acuerdo con la forma como lo hace el resto de la industria, para que las comparaciones tengan validez.

La contabilidad según TOC habla que la forma mas fácil de hacerlo, es tomando únicamente los costos directos del área de mantenimiento, es decir, todos aquellos costo que la gerencia de mantenimiento requiere para operar pero sin asignarle costos prorrateados de otras áreas administrativas o de otra índole, pues esto hace que se asignen valores diferentes en cada empresa de la industria, volviendo inciertas las comparaciones. Dentro de la empresa, la base de datos de costos para hallar los valores de producción y mantenimiento debe ser la misma para evitar resultados erróneos.

Como se puede ver, son datos globales, que si se quiere a nivel del departamento de mantenimiento, se pueden abrir para mirar las variaciones que se tengan en el tiempo con respecto a los costos de producción y también al trupt logrado.

Nuevamente hay que hacer énfasis en que los costos deben agruparse de una manera que tal que permitan llevarlos a un nivel que se pueda hacer con los recursos que se tienen y únicamente hasta donde sea práctico para el análisis que se haga en busca de ganar más dinero ahora y en el futuro.

Se propone, que se calculen los índices de la teoría de Restricciones, teniendo en cuenta solo los costos e inversiones en que interviene Mantenimiento y calculados de acuerdo con las descripciones hechas en este capítulo:

1. Utilidad Neta (UN) = T-GOtotal

GO total=GO(mant)+GO(demás gastos operativos)

En esta fórmula, los gastos de mantenimiento son una parte de los gastos totales y por tanto se puede ver como un porcentaje. Por lo tanto si la utilidad neta UN varía y el trupt T se mantiene constante, hay que analizar cual de los

componentes del GOtotal ha variado y si es Mantenimiento, entrar a analizar las razones.

2. Rendimiento de la Inversión (RDI) = (T-GO)/ I

La influencia de Mantenimiento en el numerador en la fórmula del RDI ya fue analizada en el párrafo anterior. En cuanto al denominador, vale la pena hacer el siguiente análisis:

La inversión según TOC es todo lo que requiere la planta para producir, por tanto está incluido los equipos, almacenes de repuestos e instalaciones pero también otros rubros como almacén de materia prima, en proceso y producto terminado, capital de trabajo, muebles y otros. Pero la influencia y responsabilidad de mantenimiento está en los equipos, instalaciones de la planta y almacén de repuestos para ejecutar el mantenimiento. Por tanto, para poder mirar la gestión de área de Mantenimiento se propone que la inversión sea abierta en dos cifras:

$$I \text{ total} = (I \text{ mant} + I \text{ otros})$$

En donde **I mant** es la inversión en equipos, instalaciones de planta e inventario de repuestos. De acuerdo con esta definición se tendría un nuevo índice para mirar la gestión de mantenimiento:

$$\text{Rendimiento de la Inversión (RDI)} = (T-GO) / I$$

$$\text{RDI} = T - (GO(\text{mant}) + GO(\text{demás gastos operativos})) / (I \text{ mant} + I \text{ otros})$$

En esta expresión podemos ver que Mantenimiento influye en el rendimiento sobre la inversión cuando los gastos de Mantenimiento aumentan o disminuyen e igualmente cuando la inversión en repuestos y equipos a cargo de mantenimiento aumenta o disminuyen en valor. Esto no quiere decir que no se pueda en algún momento aumentar los gastos de mantenimiento y los costos de inversiones en equipos y repuestos. Si estos mayores valores se hacen en costos de operación e inversiones que hacen que aumente el truptut de la empresa y el RDI mejore, deben hacerse.

Otros índices económicos, que miden la gestión de Mantenimiento, desde el punto de vista TOC pueden ser:

$$\frac{\text{Inventario de mantenimiento}}{\text{Valor total de equipos}} = \% \text{ inventario de respaldo.}$$

Este valor mide la correcta gestión de repuestos y equipos de respaldo, tanto nuevos como reparados, para soportar el Mantenimiento.

Gastos de mantenimiento = % Costos de producción
costos de producción

Este valor nos indica el peso de mantenimiento en los gasto de producción.

Facturación perdida por no disponibilidad = % disminución de ingresos
facturación total +facturación perdida.

Este valor nos muestra el peso de la no disponibilidad en los ingresos totales de la empresa.

Pero el principal indicador a tener en cuenta, es:

Facturación perdida – gastos variables fabricación= disminución margen operativo

Pues los Gastos Operativos y de mantenimiento ya han sido cargados a la facturación lograda.

Es decir,

EL INGRESO PERDIDO ES IGUAL AL TRUPUT DEJADO DE GENERAR.

Seguramente cuando se conozcan estos valores y se vea su peso, habrá que implementar otros medidores para encontrar oportunidades de mejora.

Estos valores deben tener un punto de referencia, deben ser comparados con los valores de la industria respectiva.

5. CONCLUSIONES.

En el plan de este proyecto se planteó como objetivo conseguir una herramienta para visualizar de una manera concisa y exacta la incidencia de la gerencia de Mantenimiento en los costos de producción y en los resultados financieros tanto en el balance como en las utilidades o pérdidas de la empresa. Para ello se propuso estudiar la “Teoría de restricciones” en general y la “Contabilidad de costos según TOC” en particular.

La “Teoría de Restricciones”, como se ve en el capítulo 3, “Teoría de restricciones aplicada al Mantenimiento”, permite mejorar la gestión de mantenimiento al enfocar todos los esfuerzos y diversas ayudas de gestión con que se cuenta hoy en día, en los puntos que permiten una mayor eficiencia de la planta para lograr la meta de toda empresa, producir dinero.

Pero es en el capítulo 4, “La Teoría de restricciones y los aspectos económicos del Mantenimiento”, en donde como resultado de este trabajo se hacen planteamientos para facilitar el análisis de las cifras económicas en que incide mantenimiento como resultado de su gestión.

Para lograr utilizar estas herramientas financieras encontradas, debe ante todo cambiarse conceptos enunciados en la forma tradicional de la contabilidad de costos y aplicarse los principios contables de la “Contabilidad de costos según TOC” al análisis de los costos de mantenimiento y su incidencia en los ingresos. Estos conceptos, ya analizados en el capítulo 4 se enuncian de una manera breve a continuación:

- 1 Truput. Mantenimiento incide en el valor de los costos de producción pues su desempeño afecta la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y la calidad de los productos obtenidos; un mayor valor del mantenimiento disminuye el margen de ingreso por cada producto. **Esta incidencia debe ser medida en dinero dejado de facturar y en dinero gastado** de más para lograr una producción determinada. Estas cifras se reflejan claramente en el P&G de la empresa

- 2 Inventario. **Mantenimiento es responsable por el mayor o menor valor de los inventarios**, tanto de materiales de respaldo en almacén como del valor del activo representado en equipos instalados y equipos de respaldo. Estos valores se pueden analizar en el Balance de la empresa y sus costos financieros afectan el P&G.
- 3 Gastos de operación. El área de Mantenimiento tiene unos costos de funcionamiento que no son fácilmente de identificar a qué Orden de trabajo pertenecen y otros costos que si son fáciles de determinar para cada Orden de trabajo, como materiales, servicios contratados y personal extra.

Otros conceptos, de acuerdo con la “contabilidad según TOC” a tener en cuenta para el análisis de la incidencia del Mantenimiento en los resultados de la empresa, son:

- 1 Gastos de funcionamiento. No se deben prorratear al Mantenimiento de las diversas unidades, gastos que no son fáciles de determinar como por ejemplo los gastos de funcionamiento de la gerencia de Mantenimiento y menos aun de otras áreas de la empresa.
- 2 Mano de obra. El costo de la mano de obra fijo de mantenimiento, no se carga como un costo a cada Orden de trabajo, pues siempre es difícil determinar con exactitud el valor de las horas/hombre trabajados en cada actividad y el costo real de esas horas. Las h/h se registran en la orden de trabajo pero sin valor y solo para análisis de productividad. Ese valor total de los técnicos de planta, se carga a los gastos de funcionamiento de la gerencia de Mantenimiento.
- 3 Herramientas. Son un costo de funcionamiento de la gerencia de Mantenimiento. Tampoco se prorratea su costo entre las diversas Órdenes de Trabajo.
- 4 Consumibles. También se consideran un costo de funcionamiento de la gerencia de Mantenimiento. No deben ser cargados a las órdenes de trabajo ya que por lo general son de uso en varias OT.

Una conclusión, es que el costo de Mantenimiento debe ser medido no solo por los gastos en que incurre directamente sino también por otros gastos como los gastos operacionales durante paradas no programadas, multas y sanciones por no disponibilidad de equipo, costos financieros del inventario de equipo y repuestos y costo de alquileres de equipos para sustituir los que estén fuera de servicio.

Otro aporte de este estudio es una forma fácil y clara de analizar **la inversión en equipos**. La forma de hacer el análisis es sencilla pero considera todos los gastos e ingresos en que incide cada alternativa.

El estudio fija también unos índices económicos de que son fáciles de hallar y miden la gestión del área de Mantenimiento. Allí se plantea también la forma de poder visualizar la incidencia de Mantenimiento en los índices globales de la empresa.

Seguramente será necesario hacer algunos cambios en el plan contable de la empresa y en la forma como se registran los costos pero esos cambios son mínimos. Los mayores cambios hay que hacerlos en la concepción de la contabilidad de costos por parte de las personas involucradas con los costos desde las que los causan, los que los registran hasta los que los consolidan, sacan los índices y los analizan. Los beneficios se logran si se aplican los índices económicos que se sugieren en el estudio y se toman determinaciones a partir de ellos para la orientación del mantenimiento.

Creemos que las ideas planteadas en este trabajo contribuyen a un mejor esclarecimiento de la forma de medir la gestión de Mantenimiento por su aporte a los resultados económicos de la empresa y que presenta herramientas para hacerlo. Cuando la gerencia de Mantenimiento sea calibrada con indicadores de costos y de gestión que contengan todos estos elementos, seguramente se tendrá una mayor claridad sobre los resultados de su gestión y buscará la forma de hacer más eficiente la labor de su área pues encontrará que su incidencia en los costos de la empresa va más allá de donde parece. En ese momento tendrá también a la “Teoría de restricciones” como una gran herramienta para hacer sus análisis y encontrar los cuellos de botella que le impiden que su empresa gane más dinero. Un aporte a esos análisis pueden ser los conceptos que se encuentran en el capítulo 3 de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

AMÉNDOLA, Luis. Dirección y gestión de parada de plantas. Ediciones Espuela de planta. 2005.

CORBETT, Thomas. La contabilidad del trupu. Segunda edición. Ediciones Piénsalo, 2002. 178p.

DARLINGTON, John. Throughput Accounting: The Garrett automotive experience. Management Accounting, abril 1992.

DETTMER, William. Goldratt theory of constraints: A system's approach to continuous improvement. Milwaukee. ASQC, Quality press, 1996.

GOLDRATT, Eliyahu. La Meta. Segunda edición. Ediciones Regiomontanas, 2004. 424p.

GOLDRATT, Eliyahu y otros. The goal: A process of ongoing improvement. Segunda edición. Editorial North River press, 1992

GOLDRATT, Eliyahu. No fue la suerte. North River press. Great Barrington. 1994

HARGADON, Bernard. Principios de contabilidad. Editorial Norma, 1983. 760p

HORNGREN, Charles. Contabilidad de costos, un enfoque de gerencia. Tercera edición. Editorial Dossat, 1983. 982p.

LOURIVAL, Augusto Tavares. Administración moderna de mantenimiento. Revista M y Q. 2204. 144p

NAKAJIMA, Seiichi. Introducción al TPM. Productivity Press, Cambridge. 1988. 127p.

NOREEN, Eric. The theory of Constraints and its implications for management Accounting. Great Barrington, North River Press. 1995.

ORTIZ, Héctor. Análisis financiero aplicado. Segunda edición. Universidad Externado de Colombia, 1987. 427p.

SENGE, Peter. The fifth discipline. New York: Currency Doubleday, 1990.