

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias de la Valuación

Estimación del factor de demérito por estado de conservación de una máquina formadora de envases considerando los mantenimientos

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencias de la Valuación

Presenta:

Ing. Celso Castillo Reséndiz

Dirigido por:

M.G.P. José Luis Alcántara Obregón

Santiago de Querétaro, Qro. Octubre 2015



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias de la Valuación

Estimación del factor de demérito por estado de conservación de una máquina formadora de envases considerando los mantenimientos

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencias de la Valuación

Presenta:

Ing. Celso Castillo Reséndiz

Dirigido por:

M.G.P. José Luis Alcántara Obregón

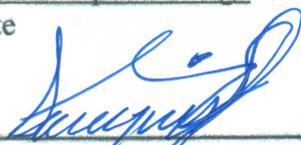
M.G.P. José Luis Alcántara Obregón
Presidente

M.C. José Gonzalo Alejandro Álvarez Frías
Secretario

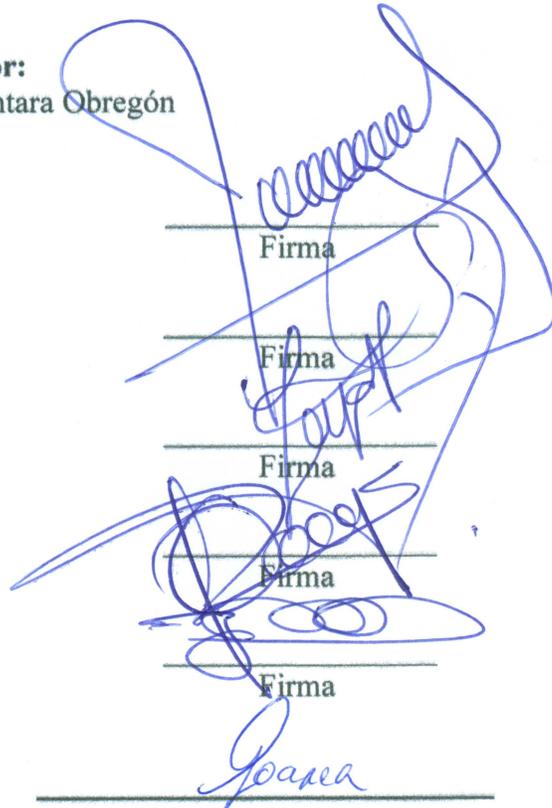
M.C. Verónica Leyva Picazo
Vocal

M.C. Sergio Javier Amaya Padilla
Suplente

M.C. Paola Zepeda Ortega
Suplente



Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad



Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca
Piña
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Octubre 2015

México
RESUMEN

En la actualidad la valuación de maquinaria y equipo es una actividad de gran importancia, debido a que integran uno de los más grandes grupos en los activos de las empresas. Con frecuencia los valuadores para estimar el valor de los equipos aplican al valor de reposición nuevo factores relacionados como la antigüedad, obsolescencia, servicio, uso y estado de conservación. El factor por estado de conservación se estima con base en la experiencia del valuador utilizando criterios subjetivos. El presente trabajo de investigación busca ofrecer a los valuadores un modelo para estimar el factor de depreciación por estado de conservación considerando los mantenimientos realizados a las máquinas formadoras de envases de vidrio. Para establecer este modelo se tomó en consideración la eficiencia, porcentaje de defectivo, tiempo muerto, velocidad de trabajo y porcentaje de mantenimiento de doce máquinas formadoras de envases de vidrio, instaladas en una empresa ubicada en la ciudad de Santiago de Querétaro; aplicando el método de regresión lineal múltiple a las variables antes señaladas, se encontró la relación entre el mantenimiento y el estado de conservación de las máquinas.

(Palabras clave: valuación, maquinaria, conservación, depreciación y mantenimiento)

SUMMARY

Currently the valuation of machinery and equipment is an important activity, because those integrate one of the biggest groups in the assets of the companies. Often appraisers to estimate the value of the equipment applied to the new replacement value of factors such as age, obsolescence, service, use and conservation state. The conservation factor was estimated based on the experience of the appraiser using subjective criteria. This present research work seeks to offer appraisers a model to estimate the depreciation factor for conservation state considering the maintenance services on the forming machines for glass containers. To establish this model it was take into consideration the efficiency, the defective percentage, dead time, work speed and maintenance percentage in twelve forming machines for glass containers, installed in a company located in Santiago de Querétaro city. Applying the method of multiple lineal regressions to the variables previously mentioned, it was found the relation between the maintenance in the machines and the conservation state.

(Key words: valuation, machinery, conservation, depreciation and maintenance)

DEDICATORIAS

A Dios por haberme dado la oportunidad de vivir y tener una familia maravillosa, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mi esposa Elvia, por su apoyo incondicional en esta bonita etapa de mi vida, por su paciencia y comprensión en esos momentos que he faltado por dedicárselos a la escuela.

A mis hijos David y Regina, que con sus sonrisas fueron mi fuente de motivación para culminar esta etapa en mi vida.

A mis padres, que supieron formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, por sus consejos, por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles, por ser fuente de motivación para no desistir y concluir una de mis más grandes metas en la vida.

A mis hermanos, por haber confiado en mí, por su apoyo en todo momento, por demostrarme que con perseverancia se alcanzan las metas. En especial a Jaime por su contribución, por sus consejos para culminar con este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Al M.G.P. José Luis Alcántara Obregón, director de tesis, por dedicarme un poco de su valioso tiempo, por su guía y asesoramiento, por sus consejos y por compartir desinteresadamente sus conocimientos y experiencia para la realización de este trabajo de investigación.

A la M. C. Verónica Leyva Picazo por su apoyo y colaboración durante la elaboración de este proyecto.

Al Grupo VITRO planta Querétaro, por todas las facilidades prestadas para poder estudiar la Maestría en Ciencias de la Valuación, en especial al Ing. José Guadalupe Gonzalez Berrios, que en ningún momento escatimó en los horarios solicitados para acudir a la Universidad.

A todos los maestros que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera, en especial al M.C. José Gonzalo Alejandro Álvarez Frías por sus excelentes cátedras y consejos.

A todos mis amigos que de alguna manera u otra han contribuido para que este esfuerzo culminara.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
SUMMARY	iv
DEDICATORIAS	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I INTRODUCCIÓN	1
I.1 Antecedentes y Justificación	3
I.2 Planteamiento del problema	4
I.3 Hipótesis y objetivos	5
I.3.1 Hipótesis general	5
I.3.2 Objetivo general	5
I.3.3 Objetivos específicos	5
II REVISIÓN DE LITERATURA	6
II.1 El mantenimiento y su relación con la productividad	6
II.1.1 Mantenimiento	8
II.1.2 Funciones del mantenimiento	8
II.1.3 Tipos de mantenimiento	9
II.1.3.1 Mantenimiento Correctivo	9
II.1.3.2 Mantenimiento Preventivo	10
II.1.3.3 Mantenimiento Predictivo	10
II.1.3.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM)	11

II.1.4	El mantenimiento industrial como elemento de la logística productiva	12
II.1.5	El mantenimiento industrial, la columna vertebral de las empresas	12
II.1.6	Los factores clave del mantenimiento	13
II.1.7	El mantenimiento industrial genera dinero y riqueza	14
II.2	MÉTODOS PARA LA VALUACIÓN DE MAQUINARIA	16
II.2.1	La valuación de maquinaria	16
II.2.2	Enfoque comparativo de mercado	17
II.2.3	Enfoque de costo	19
II.2.4	Enfoque de ingresos	22
III	METODOLOGÍA	24
III.1	Marco teórico	24
III.2	Obtención de datos	26
III.2.1	Definición de eficiencia o PTM	28
III.2.2	Definición de defectivo	28
III.2.3	Definición de tiempo muerto	28
III.2.4	Definición de mantenimiento	29
III.2.5	Definición de velocidad de máquina	29
III.3	Análisis de las variables por máquina	31
III.4	Análisis de variables del conjunto de máquinas	32
III.5	Determinación del factor de depreciación	32
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
IV.1	Resultados	34
IV.1.1	Interpretación de resultados de máquina # 10	35
IV.1.2	Interpretación de resultados de máquina # 11	36
IV.1.3	Interpretación de resultados de máquina # 12	37

IV.1.4 Interpretación de resultados de máquina # 13	.....	39
IV.1.5 Interpretación de resultados de máquina # 14	.....	40
IV.1.6 Interpretación de resultados de máquina # 21	.....	42
IV.1.7 Interpretación de resultados de máquina # 22	.....	43
IV.1.8 Interpretación de resultados de máquina # 23	.....	44
IV.1.9 Interpretación de resultados de máquina # 24	.....	45
IV.1.10 Interpretación de resultados de máquina # 31	.....	47
IV.1.11 Interpretación de resultados de máquina # 32	.....	48
IV.1.12 Interpretación de resultados de máquina # 33	.....	49
IV.2 Análisis de las variables del conjunto de máquinas	.....	51
IV.3 Cálculo del factor de depreciación para la máquina I. S. considerando los mantenimientos.	.....	53
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	56
V.1 Conclusiones.	.....	56
V.2 Recomendaciones.	.....	58
BIBLIOGRAFÍA	.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
3.1	Fecha de instalación de máquinas y últimos mantenimientos	30
4.1	Ecuaciones generadas por análisis de regresión lineal por máquina	34
4.2	Ecuaciones de máquinas utilizadas para análisis final	50
4.3	Resultados diciembre de 2013 por máquina	52
4.4	Eficiencias pronosticadas por el modelo de regresión lineal múltiple	53
4.5	Porcentajes de depreciación calculados por máquina	54
4.6	Factores de depreciación por máquina	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Proceso de Fabricación de envases de vidrio	6
2.2	Línea formadora de envases	7
4.1	Imagen de la máquina # 10	36
4.2	Imagen de la máquina # 11	37
4.3	Imagen de la máquina # 12	39
4.4	Imagen de la máquina # 13	40
4.5	Imagen de la máquina # 14	41
4.6	Imagen de la máquina # 21	43
4.7	Imagen de la máquina # 22	44
4.8	Imagen de la máquina # 23	45
4.9	Imagen de la máquina # 24	46
4.10	Imagen de la máquina # 31	47
4.11	Imagen de la máquina # 32	48
4.12	Imagen de la máquina # 33	50

I. INTRODUCCIÓN

En las empresas que se dedican a la transformación, las máquinas son los bienes tangibles que constituyen unos de los grandes grupos que integran sus activos. Los bienes tienen la característica común de estar sujetos a la baja paulatina de su valor a causa de la depreciación debido a su antigüedad, estado de conservación, servicio, uso y obsolescencia funcional, condición que no sucede con los terrenos, en los que estas causas no son atribuibles.

Los métodos utilizados en la valuación de maquinaria consideran como variables los factores de obsolescencia, estado de conservación y el factor de mercado, no tomando en consideración el factor mantenimiento, el cual debería considerarse ya que la productividad está directamente relacionada con este último.

Para realizar el avalúo de las máquinas, el valuador profesional debe considerar los siguientes enfoques:

- Enfoque de costos.
- Enfoque de capitalización de rentas.
- Enfoque de mercado.

Al utilizar el método de costos, el valuador profesional debe considerar que el valor máximo de un activo es la cantidad, que hasta el día de hoy, se requiere para fabricar uno nuevo con una utilidad similar. Cuando un activo no es nuevo, se debe ajustar el costo actual para que refleje todas las formas de depreciación atribuible al mismo (estado de conservación, obsolescencia, edad, entre otros) a la fecha del avalúo. Por esta razón, las empresas deben mantener un eficiente programa de mantenimiento para que sus equipos se mantengan en excelentes condiciones, ya que de no hacerlo se afecta directamente el valor del activo.

Cuando el valuador profesional utiliza el método de capitalización de rentas o ingresos considera que el valor se representa por el valor actual de los beneficios futuros (ingresos potenciales) derivados de la propiedad de un bien, y por lo general se mide mediante la capitalización de un nivel específico de ingresos. Como se mencionó con anterioridad, el mantenimiento de los equipos está directamente relacionado con la productividad de los mismos, por lo tanto afecta directamente en los ingresos de la empresa.

El enfoque de mercado se fundamenta en la comparación entre la máquina que se va a valorar y aquellas máquinas similares o semejantes que han sido vendidas en fechas recientes. El objetivo de este método es determinar la deseabilidad de los activos; para ello, se investigan ventas u ofertas recientes de activos similares que en este momento existan en el mercado a fin de establecer un precio más probable de venta de los activos que se estén valuando. Algunos factores de homologación que se toman en cuenta son: antigüedad, condiciones del equipo, capacidad, entre otros. No así el historial de mantenimiento.

En la actualidad, las empresas para mantenerse en los mercados tan competitivos, deben elaborar productos que cumplan con los más altos estándares de calidad y a los más bajos costos. Parte importante para lograr estos objetivos, deben contar con adecuados programas de mantenimiento. El presente trabajo de investigación ayudará a los valuadores profesionales, a estimar el valor de las máquinas, tomando en consideración el histórico de sus mantenimientos y las condiciones en las que operan.

I.1 Antecedentes y Justificación

En los últimos años, la preocupación por la competitividad de las empresas se ha incrementado en forma considerable, principalmente en los países en desarrollo. Por esta razón, las empresas buscan permanentemente la manera de incrementar la productividad de sus máquinas sin descuidar la calidad de sus productos (Deming, 2000).

Para incrementar la productividad en las empresas, es necesario optimizar los procesos de producción mediante el estudio de tiempos y movimientos, la disminución de tiempos muertos en las máquinas por falta de mantenimientos, encontrar las condiciones externas e internas de operación adecuadas para desarrollar correctamente las actividades (Fernández, 2010).

Para garantizar el funcionamiento de las máquinas, es necesario que las empresas mantengan operando de manera eficiente un programa de mantenimiento que asegure la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, acorde a cada una de sus necesidades (García, 2011).

La productividad de una máquina se ve afectada directamente por la calidad de los mantenimientos que se le realizan. Por esta razón, es necesario generar un programa de mantenimiento acorde a las instalaciones de cada organización.

El deterioro por edad, el desgaste por uso, la fatiga, la exposición a la intemperie, la falta de mantenimiento, la falta de utilidad, exceso de capacidad, obsolescencia son condiciones que afectan el valor de los bienes.

Los métodos utilizados en la valuación de maquinaria consideran como variables los factores de obsolescencia, estado de conservación y el factor de mercado, no tomando en consideración el factor mantenimiento, debiendo considerarse ya que la productividad está directamente relacionada con este último.

I.2 Planteamiento del problema

La globalización de los mercados permite comprar los productos más baratos y de mejor calidad, no importa donde se produzcan. Esto provoca que la competencia sea cada vez mayor. Las empresas buscan consolidar su participación en el mercado. La competencia lleva a las empresas a mejorar continuamente su eficiencia, para ello, buscan optimizar sus recursos, mejorar la calidad, bajar los costos de producción e incrementar su productividad.

Para ser más eficientes, parte esencial es la reducción de paros de sus equipos por fallas causadas por falta de mantenimiento y/o programas de mantenimiento ineficientes. Como se mencionó con anterioridad, la calidad y la productividad están directamente relacionadas con el mantenimiento de las máquinas.

Aunque para muchas personas el costo del mantenimiento es el segundo y en ocasiones el principal gasto de las empresas, después de las nóminas. Cuanto más eficiente sea el mantenimiento, su costo de producción será más bajo; por el contrario, si el programa o calidad del mantenimiento es deficiente se incrementarán los costos y se verá afectada la calidad y productividad de las máquinas.

Sin embargo, se observa que los factores que actualmente se toman en cuenta para la valuación de maquinaria no consideran los mantenimientos realizados a cada una de las máquinas, siendo que éste, está relacionado con la productividad de las mismas. Por lo cual el valuador profesional debe considerarlo pues afecta directamente el valor de los equipos. El presente trabajo busca relacionar cómo afectan los mantenimientos de las máquinas y las condiciones de operación en la productividad de las máquinas y proporcionar un factor de depreciación por estado de conservación.

I.3 Hipótesis y objetivos

I.3.1 Hipótesis general

El mantenimiento denominado TPM (Mantenimiento Productivo Total), el porcentaje de defectivo y el tiempo muerto por fallas, contribuirá directamente a determinar el factor de depreciación por estado de conservación de una máquina formadora de envases de vidrio.

I.3.2 Objetivo general

Determinar el efecto del mantenimiento en la productividad de una máquina formadora de envases de vidrio como base para la estimación del factor de depreciación por estado de conservación en el proceso valuatorio.

I.3.3 Objetivos específicos

- Analizar las variables más importantes que componen el método de estudio.
- Desarrollar un método para estimar el efecto del mantenimiento en el desempeño de las máquinas formadoras de envases de vidrio.
- Proponer un factor del estado de conservación de las máquinas de acuerdo a los mantenimientos de cada una de ellas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1 El mantenimiento y su relación con la productividad

Según Peralta (2012), hasta principios del siglo XX, la producción de envases de vidrio en México se realizaba en forma artesanal. En los primeros años de 1900, después de numerosas investigaciones, se crea la primera máquina para la formación automática y producción en serie de envases de vidrio. Unos años más tarde, en 1925, se pone en marcha una máquina de secciones individuales (I.S.), que contaba con cuatro secciones, pasando más tarde a cinco y después a seis. Actualmente existen máquinas hasta con 20 secciones que permiten fabricar 800,000 botellas al día. En la figura 2.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de fabricación de envases de vidrio.

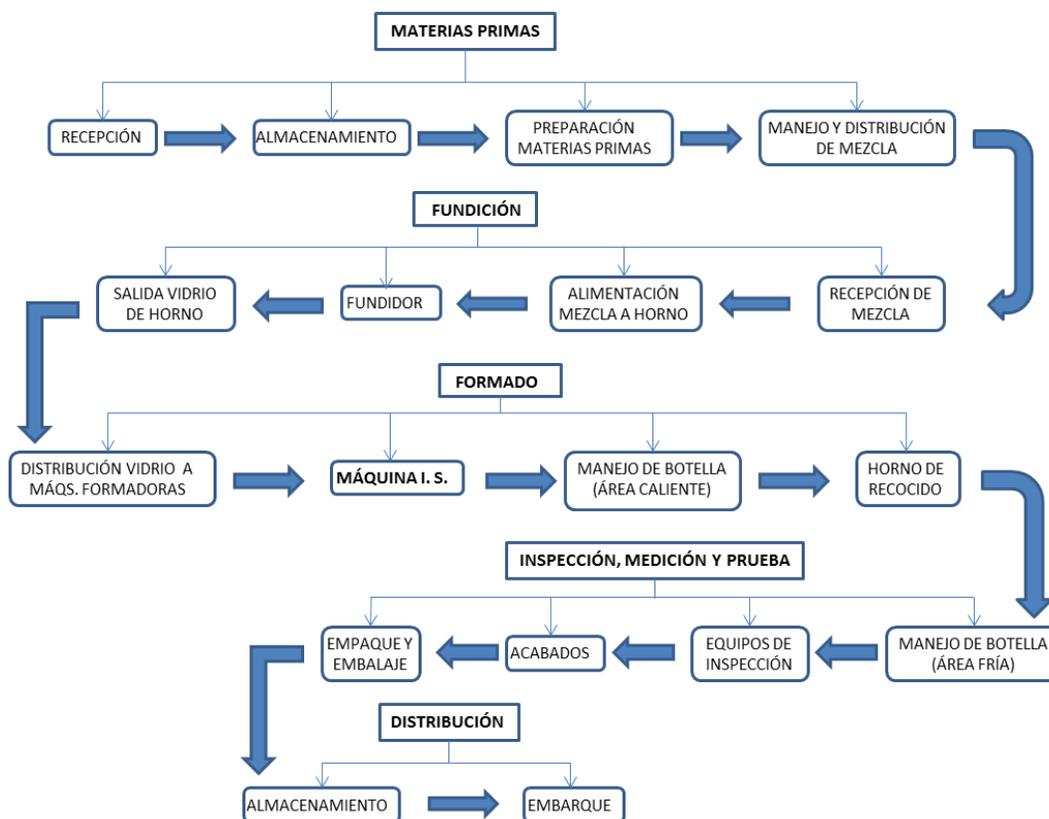


Figura 2.1 Proceso de Fabricación de envases de vidrio

Fuente: Elaboración propia (2014)

Aunque en sus inicios, las máquinas con secciones individuales ofrecían incrementar la productividad, estas tenían algunas restricciones. Una de las más representativas es que cuando alguna de las secciones de la máquina sufría descomposturas era necesario parar toda la máquina para poder corregir el desperfecto. Con el paso del tiempo, a finales de la década de los setenta, se desarrolla una máquina en la que ya no es necesario parar todas las secciones para corregir los problemas que se presentaban en alguna de estas. Si la máquina es de diez secciones es posible parar una, dos, tres, hasta nueve secciones y seguir trabajando con el resto. Esta ventaja le dio a la máquina la versatilidad para programar mantenimientos en las secciones que presenten problemas. En la figura 2.2 se muestra el diagrama de una línea formadora de envases.

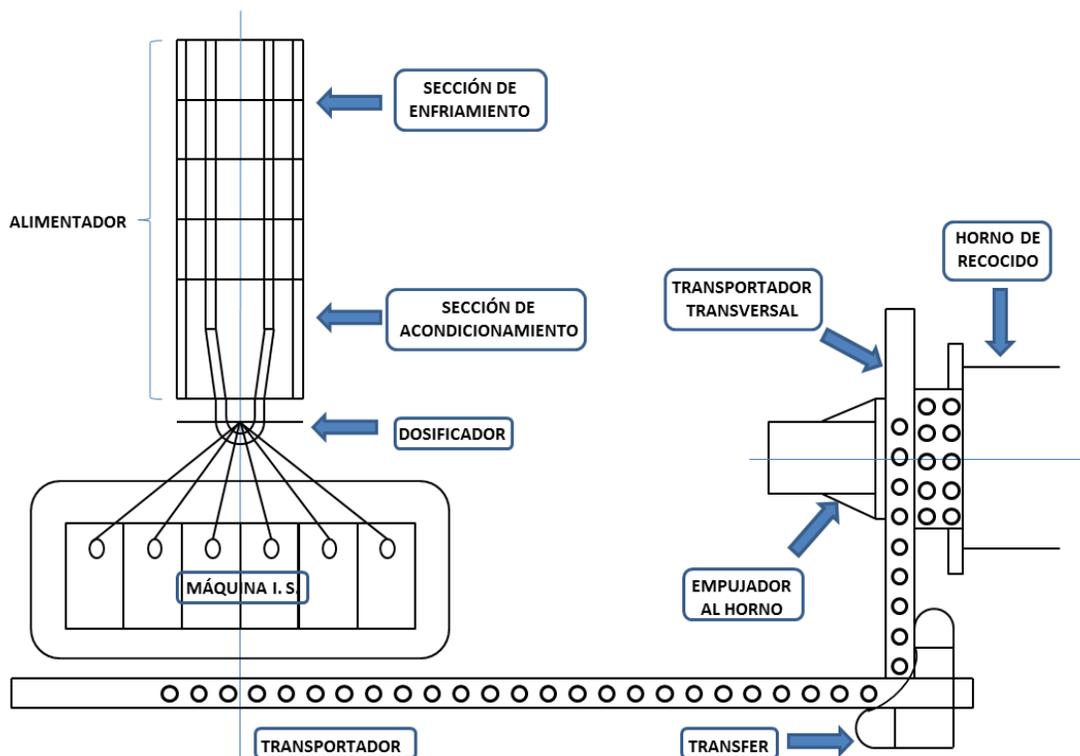


Figura 2.2 Línea formadora de envases

Fuente: Elaboración propia (2014)

II.1.1 Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de técnicas y acciones que son destinadas a conservar o restablecer equipos, dispositivos, instalaciones o edificaciones, con la finalidad de que estos puedan cumplir con un servicio determinado de una manera eficiente y eficaz, durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento (Pérez, *et al.*, 2007).

La finalidad del mantenimiento es asegurar la disponibilidad de los equipos e instalaciones para obtener un rendimiento óptimo (Gómez de León, 1998).

II.1.2 Funciones del mantenimiento

La función principal del mantenimiento es la de cumplir con todos los trabajos necesarios para establecer y mantener las instalaciones, maquinaria y equipos de producción en condiciones óptimas para que desempeñen su actividades de manera segura y eficiente (Gómez de León, 1998).

Entre las principales funciones se encuentran las siguientes:

- Mantener los equipos en condiciones operativas eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- Instalación de equipo nuevo.
- Gestión de residuos y desechos.

II.1.3 Tipos de mantenimiento

Aunque podrían establecerse diferentes clasificaciones de mantenimiento, tradicionalmente se admite una clasificación basada más en un enfoque metodológico, que en una mera relación de particularidades funcionales asignadas. Desde esta perspectiva, Gómez de León (1998) considera los siguientes tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Predictivo.
- Mantenimiento Productivo Total.

Ninguno de los anteriores mantenimientos se utiliza de manera exclusiva, sino se recomienda efectuar una correcta selección de las plantas o equipos a los que se va aplicar cada uno de los mantenimientos antes mencionados.

II.1.3.1 Mantenimiento Correctivo

También conocido como mantenimiento a “rotura”, es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos, solo se interviene cuando la falla ya se ha producido (García, 2010).

Este tipo de mantenimiento puede ser urgente o programado. La diferencia entre ambos es que en el mantenimiento correctivo urgente la falla surge inesperadamente y la solución debe ser inmediata; mientras que en el caso del mantenimiento correctivo programado, la reparación puede esperar y se puede realizar cuando se cuente con los recursos necesarios (técnicos, materiales, personal, entre otros).

II.1.3.2 Mantenimiento Preventivo

Tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Pretende disminuir (en cierta medida) la reparación, mediante el establecimiento de una rutina de inspecciones y de sustitución de piezas a intervalos periódicos de tiempo. En la mayoría de los casos la sustitución de un componente se realiza independientemente del estado de la pieza (Sánchez, *et al.*, 2007).

La ventaja de este método, frente al mantenimiento correctivo, es que la planificación del mantenimiento es más sencilla, produciéndose un menor número de imprevistos en la producción. Además, reduce las necesidades de almacenamiento de repuestos, ajustando la adquisición de los mismos a los períodos planificados. Este método es recomendado para aquellos componentes que tienen una curva de deterioro claramente dependiente del número de ciclos.

II.1.3.3 Mantenimiento Predictivo

También conocido como mantenimiento según estado o condición, persigue conocer e informar el estado de los equipos mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables representativas. Estas variables pueden ser temperatura, vibración, consumo de energía, entre otros. Cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo (García, 2010).

La mayoría de los componentes de las máquinas avisan de alguna manera de su fallo antes de que éste ocurra (Patton, 2004). Por lo tanto, mediante el seguimiento de parámetros funcionales adecuados es posible detectar con anticipación el fallo de algún componente de la máquina.

II.1.3.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) por sus siglas en inglés, no es una técnica, sino una filosofía mediante la cual se trata de inculcar en todos los trabajadores de una organización que las labores de mantenimiento no son exclusivas del personal de mantenimiento. La intención del TPM es que las labores de mantenimiento menores que no requieren un nivel especial de conocimiento o habilidad puedan ser realizadas por todas las personas (Acuña, 2003).

Fue creada por la empresa General Electric en los años 50. Esta filosofía es paralela a la de Calidad Total. Mientras que la Calidad Total pasa de hacer énfasis en la inspección, la selección y la repetición de piezas defectuosas a hacer énfasis en la prevención, el TPM pasa del énfasis de la simple reparación al énfasis de la prevención de averías de las máquinas (J. Hay, 2003).

El objetivo principal del TPM es la mejora continua del rendimiento operacional de todos los procesos y sistemas de producción, mejorar la operación y no solo permitir que el proceso siga su senda productiva. Involucra la búsqueda de formas de hacer más eficiente la práctica del mantenimiento con una mejor planeación y programación de tareas, mejores formas de acceso al equipo y un eficaz control del inventario de partes y repuestos (Rey, 2001).

Según Cuatrecasas (2012), los sistemas productivos han evolucionado durante mucho tiempo hacia una mejora basada en la productividad de sus equipos. En la actualidad, la eficiencia se basa más en la calidad que acompaña a esta productividad y en la garantía del buen funcionamiento de los equipos. Es necesario que estos operen con los máximos niveles de eficiencia y de calidad, para consolidar un sistema productivo que pueda tener como objetivos, los tres “ceros”: cero desperdicios, cero defectos y cero averías.

II.1.4 El mantenimiento industrial como elemento de la logística productiva

Espolita (1996), publicó un artículo donde menciona que resulta sorprendente que hoy en día muchas de las empresas cuentan con sistemas de mantenimiento obsoletos, aplican planes de mejora en la calidad, sin tomar en consideración el mantenimiento. Los problemas de calidad se logran reducir fundamentalmente a base de atacar los males en su origen, eliminando las causas que los producen y no conformándose en detectar las calidades cuando ya los productos defectuosos están fabricados.

Las empresas gastan cantidades importantes de dinero en dar formación al personal de producción y en automatizar las instalaciones, desatendiendo el razonamiento que de poco sirve esto, si no actuamos sobre el estado técnico de los equipos y si no hacemos que las máquinas den seguridad de marcha estable, dentro de parámetros controlados. Siendo que el mantenimiento es el corazón de los planes de mejora, ya que las máquinas están en contacto continuo con el producto y son las responsables de dar la calidad.

Por lo tanto, la misión del mantenimiento no es solamente el hecho de que las máquinas tengan la condición necesaria para funcionar, sino el que su estado sea óptimo para seguir funcionando, dando buen producto y con continuidad.

Los responsables de las empresas necesitan entender que la mejora del departamento de mantenimiento les traerá beneficios. Más del 80 por ciento de los problemas de su proceso, tales como problemas de calidad, de disponibilidad, de costos, de seguridad e impacto ambiental, pueden eliminarse a base de aplicar las nuevas técnicas de mantenimiento.

II.1.5 El mantenimiento industrial, la columna vertebral de las empresas

Castro (2009), según una encuesta realizada, señala que las empresas colombianas subestiman los alcances y beneficios de los departamentos de mantenimientos. De hecho, el 34 por ciento de las compañías encuestadas afirma, que los aspectos más valorados por su dirección

están relacionados con tener una infraestructura adecuada para llevar a cabo los procesos industriales y le restan importancia al área de prevención y soporte técnico.

El estudio evidenció que en general, los departamentos de mantenimiento adolecen de autonomía para realizar su trabajo, pues existe excesiva demora en la toma de decisiones, las cuales dependen casi siempre de la aprobación de jerarquías superiores, sobre todo en lo referente a temas de orden administrativo, técnico o de personal.

Así mismo, otro aspecto que limita una buena gestión del mantenimiento es la ausencia de información sobre los activos de la compañía.

El mantenimiento por su incidencia en la producción y la productividad de las empresas, constituye uno de los factores idóneos para lograr y mantener mejoras relacionadas con eficiencia, calidad y reducción de costos, optimizando así la competitividad de las empresas que lo implementan.

Para implementarlo, las empresas deben contar con un área de mantenimiento integral que busque el mejoramiento constante de la plataforma industrial, a través de programas o metodologías adecuadas para cada sistema o equipo, teniendo en cuenta que cada uno de ellos se encuentra en un nivel diferente de desarrollo y tiene un impacto distinto en el servicio que presta.

II.1.6 Los factores clave del mantenimiento

Sutoyo (2008), menciona que para ser competitivos existen algunos factores claves para los cuales las empresas deben trabajar: el primero de ellos es la calidad, brindar a los clientes productos y servicios que satisfagan sus necesidades, pero también deben entre estas necesidades, satisfacer el precio que los clientes están dispuestos a pagar por el producto, así llegamos al segundo factor clave que es la productividad.

Estos factores se deben cumplir sin descuidar las exigencias en temas de seguridad y medio ambiente que hoy en día son tan claves para la competitividad como los primeros dada la toma de conciencia que ha habido en estos temas a todo nivel, considerándose estos en el tercer y cuarto factor clave de la competitividad. Los factores antes mencionados se deben lograr en todo momento y para ello se necesita el aporte del quinto factor clave de la competitividad: la confiabilidad. La confiabilidad es lo que permite asegurar los cuatro primeros factores a lo largo del tiempo y por lo tanto asegurar la competitividad. La confiabilidad solo es posible obtenerla mediante una correcta administración del mantenimiento.

Es entonces por la incidencia, que el mantenimiento tiene en los factores clave, confiabilidad, seguridad, medio ambiente, calidad y productividad, así como en otros no menos importantes como la disponibilidad, el costo – eficiencia y el uso racional de la energía, que lo ubica actualmente en los primeros planos de la dirección empresarial.

Con lo anterior se puede aseverar que el mantenimiento ha dejado de ser un mal necesario de la producción, para convertirse en un factor clave de la competitividad.

II.1.7 El mantenimiento industrial genera dinero y riqueza

Díaz (2013), defendió durante el seminario “El mantenimiento Industrial en Tiempo de Crisis” que el mantenimiento genera riqueza y dinero. Si las instalaciones industriales carecen del mantenimiento, pueden provocar riesgos en los trabajadores y al resto de las instalaciones circundantes, así como redundar en una menor calidad en el producto, señaló.

Además, señaló que el mantenimiento es un gasto para las empresas y como tal debe ser reducido. Hay que apostar al mantenimiento porque las instalaciones deben estar preparadas para una mayor carga de trabajo. El mantenimiento es el motor de la producción, y sin él, no se puede garantizar una producción continua y controlada.

Es de suma importancia planificar y programar el mantenimiento puesto que ayudará a reducir costos de repuestos y materiales lo que se traduce en un mejor desempeño. Y todo ello con el objetivo de conseguir empresas más seguras, rentables y eficientes.

La confiabilidad de las máquinas está fundamentada en lograr que sus componentes logren la vida disponible especificada por el fabricante, para lo cual es necesario implementar programas de monitoreo objetivos y prácticos que conduzcan al análisis de las variables operacionales y por consiguiente a la solución de las causas que pueden llevar a un desgaste acelerado o a una falla catastrófica.

II.2 MÉTODOS PARA LA VALUACIÓN DE MAQUINARIA

II.2.1 La valuación de maquinaria

El avalúo es una opinión imparcial y objetiva del valor de un bien, estimado por un valuador competente, honesto y sin ningún interés en el resultado del mismo. Para la elaboración de los avalúos es necesario que el valuador profesional aplique uno a más enfoques de valuación. El término enfoque de valuación o método de valuación se refiere a los métodos analíticos generalmente utilizados para encontrar el valor de un bien (USPAP, 2013).

El avalúo de maquinaria puede ser requerido para muchos propósitos, incluyendo el pago de impuestos, reclamación de seguros, financiamiento, asignación del precio de venta, quiebra, expropiación, divorcios o disolución de corporaciones o sociedades, por mencionar algunos.

La valuación de maquinaria es subjetiva, pues a pesar de que en ocasiones existe un mercado de referencia, cada usuario del bien le atribuye un valor de utilidad específico según sus propias apreciaciones (Rojo, 2007).

Según el USPAP (2013), los bienes muebles son objetos tangibles identificables que son considerados por el público en general como "personal", por ejemplo, muebles, obras de arte, piedras preciosas y joyería, coleccionables, maquinaria y equipo, todos aquellos que no se clasifican como bienes raíces.

El 1° de enero de 2004 en México entró en vigor en boletín C-15 referente al deterioro en el valor de los activos de larga duración. Según estos lineamientos, las empresas deberán de reconocer en sus estados financieros la pérdida de valor por deterioro de sus activos de larga duración y para lo cual deberán realizar los avalúos correspondientes (Instituto Mexicano de Contadores Públicos, 2004).

Los activos de larga duración son aquellos que permanecen en el largo plazo, indispensables en la operación de la empresa y que generan beneficios económicos futuros.

En la actualidad, los principales enfoques que se han utilizado en la valuación de maquinaria y equipos son: el enfoque de capitalización de rentas, el enfoque de comparación con el mercado y el enfoque de costo de reposición.

Los enfoques antes mencionados deben considerarse para la valuación de los bienes muebles, siempre y cuando los mercados se encuentren en equilibrio. Si la demanda supera a la oferta o la oferta supera a la demanda alguno de estos enfoques puede producir resultados distorsionados (Asociación Internacional de Oficiales Valuadores, 2005).

De los métodos utilizados para la valoración de maquinaria mencionados con anterioridad, el de mercado es el más recomendado para la valoración de las máquinas, pero debido a la naturaleza de algunas, los datos de mercado no siempre se encuentran disponibles para consulta. En estos casos, debe darse al enfoque de costo más peso para la determinación del valor. El enfoque de ingresos es muy limitado su aplicación en la valuación de la maquinaria y equipo. Esto se debe a la dificultad de determinar qué parte de los ingresos totales y el flujo del gasto de la empresa sería atribuible a un equipo en específico (IVSC, 2010).

II.2.2 Enfoque comparativo de mercado

El enfoque de comparación de mercado es un conjunto de procedimientos en los que un valuador deriva una indicación de valor mediante la comparación de máquinas similares que se han sido vendidas recientemente, la aplicación de las unidades apropiadas de comparación, y hacer ajustes en base a los elementos de comparación de los precios de venta de los comparables.

Este método, consiste en la obtención de un número de muestras del mercado lo suficientemente amplio y representativo, para posteriormente, en base a estudios y creación de modelos sobre dichas muestras estimar el valor de un bien. Es el método que va permitir llegar a

un indicador que permita establecer el precio más probable de compra para dicho bien (IVSC, 2010).

Las fuentes más comunes para la obtención de datos de mercado son las publicaciones de subastas y reportes de transacciones de objetos similares. Otras fuentes de precios usados para la comparación pueden ser proporcionados por distribuidores, vendedores, oferta directa de los excedentes de equipo, intercambio directo entre propietarios (Maninggo, 2010).

El internet representa una fuente enorme de mercado en venta de equipo, pero hay gran dificultad en establecer la naturaleza de las transacciones y ofertas (Korner, 2010).

Muchos autores comentan que el método de comparación de venta directa es el más común para la valoración de maquinaria y equipo (IVSC,2010; Korner, 2010; Maninggo, 2010 and Derry, 2008). Se basa en el principio de sustitución, ya que un comprador informado no pagará por un bien más que el costo de adquirir un bien sustituto igualmente satisfactorio (IVSC, 2010). Es preferible utilizar este método de valuación cuando hay un mercado secundario conocido. Al hacer uso de este método se deben considerar los gastos de envío, instalación, impuestos y derechos (Korner, 2010).

El método de comparación es una técnica que establece el valor basado en el análisis de bienes similares (pero no idénticos) usando algunas medidas de utilidad (tamaño, capacidad, año de construcción) como la base de comparación. La principal diferencia con el método de comparación de venta directa es que las comparaciones pueden no ser similares en términos de modelo y año de construcción, pero tiene otras similitudes como la capacidad, la aceptación de la marca en el mercado o el mismo país de origen.

Sin embargo, el uso del enfoque de comparación de ventas puede tener limitadas aplicaciones en los avalúos maquinaria y equipo debido a la dificultad de obtener suficientes comparables para realizar la homologación (Departamento de Impuestos de Oregón, 2008).

El valor de mercado es la cantidad estimada por la cual, en la fecha de la valuación, se intercambiará voluntariamente una propiedad entre un comprador y un vendedor en una transacción libre después de una comercialización adecuada en la que cada una de las partes ha actuado experimentada, prudentemente y sin presiones (IVSC, 2010).

II.2.3 Enfoque de costo

El enfoque de costo es un conjunto de procedimientos en los que un valuador profesional deriva una indicación de valor mediante la estimación del costo actual de reproducir o reemplazar los activos deducidos de las depreciaciones, el deterioro físico, la obsolescencia funcional y obsolescencia externa / económico.

Budhbhatti (1999) indica que el enfoque de costo se basa en el principio de que los activos disminuyen su valor, a través de la edad, cambios en la función de utilidad, así como de las influencias externas negativas. Según Korner (2010), el enfoque de costos ofrece el único método aplicable para la valoración de maquinaria en donde las transacciones del mercado de comparables no están disponibles y no hay datos financieros referentes a la propiedad o tema de estudio.

Muchos autores están de acuerdo en que existen tres métodos para determinar el valor de reposición nuevo de la maquinaria (IVSC, 2010; Maninggo, 2010; Korner, 2010 and Derry 2008). Estos métodos son: el de tendencias, precios directos y las técnicas de valuación comparativa.

La aplicación del método de tendencias supone que el valor actual de la maquinaria o equipo puede ser obtenido del costo de adquisición original multiplicado por el resultado de dividir el valor del Índice Nacional de Precios al Consumidor actual entre el valor del índice de la fecha de adquisición del bien. Sin embargo, Manninggo (2010) observa que este método es de aplicación general y proporciona un resultado fiable cuando el bien es relativamente nuevo, cuando la economía se encuentra estable y los datos históricos están disponibles, lo que podría

no funcionar con activos de segunda mano. El método de tendencias es especialmente adecuado para la gran cantidad de activos donde el método de precio directo no es práctico.

Otro método para llegar al valor de reposición nuevo (VRN) es por fijación directa de precios. Aunque el método de tendencias proporciona una indicación rápida del costo nuevo, el método de precio directo es sin duda preferible. Ya que es un proceso en el que se aplican referencias de listas de precios actuales de fabricantes, cotizaciones y catálogos que ofrecen los precios más recientes del objeto de estudio. Adicional al valor de bien deben ser considerados los costos de transportación e instalación (Korner, 2010; Derry, 2008).

Sin embargo, el único obstáculo en la utilización de este método es la disponibilidad de datos. Los precios de ciertos artículos no pueden estar disponibles. En algunos casos el fabricante puede no estar dispuesto a revelarlos. Una alternativa es la fijación directa de precios mediante la adición de los costos de materiales, mano de obra, ingeniería y otros gastos necesarios para reproducir el bien. El valuador debe tener conocimientos y experiencia sobre la maquinaria que se va a valorar. Por lo tanto, el método de precio directo rara vez se utiliza.

Por último, la técnica de valuación comparativa puede ser utilizada para obtener el costo de reposición nuevo. En la valuación comparativa el costo de una máquina es estimado al conocer los precios de equipos con características, funcionalidad y utilidad similar. Algunos valuadores usan la regla 6/10 (Korner, 2010). La regla 6/10 se basa en la suposición de que el sujeto se encuentra 40% más bajo que el precio de mercado de una máquina similar nueva, debido a la diferencia de tecnologías y año de construcción, sin considerar la depreciación física. Se debe prever que la regla 6/10 se aplica cuando el sujeto es comparado con el mercado de una máquina nueva similar, solo se aplica si tiene una funcionalidad similar, aunque tenga diferente capacidad.

El método de valuación comparativa establece el valor de bien por referencia al costo de construcción de un bien equivalente. Considera la posibilidad de sustituirlo mediante una compra o la fabricación de una réplica igual a la original o a una que pueda generar la misma renta (IVSC, 2010).

Se basa primeramente en la estimación del costo de reproducción o reposición de un bien igual o de características semejantes al bien analizado a la fecha del avalúo. Al resultado de esta estimación se le denomina valor de reposición nuevo. Si el bien no es nuevo, su valor se afectará por los diversos factores de depreciación y obsolescencia aplicables, según sea el caso, y así se obtiene el valor físico también llamado Valor Neto de Reposición (VNR).

El enfoque de costos es el método más utilizado para la valoración de maquinaria y equipo. El uso de este enfoque, en ocasiones tiene como propósito conocer el valor de bienes, atípicos que no tienen comparables de operaciones en el mercado en estudio, o en su defecto, de los que no hay ofertas de mercado (Departamento de Impuestos de Oregón, 2008).

Hay dos formas para valorar la maquinaria y equipo con el enfoque de costos. Matemáticamente estas formas son:

$$\mathbf{VNR = (COA \times ITC) - DA} \quad \mathbf{(1)}$$

Dónde: COA= Costo Original de Adquisición

ITC= Índice de Tendencia de Costos

DA= Depreciación Acumulada

VNR= Valor Neto de Reposición (Departamento de Impuestos de Oregón, (2008)

$$\mathbf{VNR = VRN - DA} \quad \mathbf{(2)}$$

Dónde: VRN= Valor de Reproducción Nuevo

DA = Depreciación Acumulada

VNR = Valor Neto de Reposición (Departamento de Impuestos de Oregón, (2008)

II.2.4 Enfoque de ingresos

Se aplica a los bienes susceptibles de una explotación económica, cuyas expectativas de ingresos, que posiblemente proporcionarán en el futuro, sustentan el valor de un bien.

Este método considera el valor presente de los beneficios futuros, derivados del bien por valorar y es medido a través de la capitalización de los ingresos. A este valor presente se le conoce como valor de capitalización.

Además, considera los ingresos y egresos relativos al bien que se está valuando, y estima el valor mediante el proceso de capitalización. La capitalización relaciona el ingreso y a un tipo de valor definido, convirtiendo una cantidad de ingreso en un estimado de valor. Este proceso puede considerar relaciones directas (conocidas como tasas de capitalización), tasas de rendimiento o descuento (que reflejan medidas de retorno de la inversión), o ambas (IVSC, 2010).

El método de ingresos presenta una serie de restricciones, las cuales se presentan a continuación:

- Para la mayoría de instalaciones y máquinas, las ganancias potenciales (beneficios) no se pueden separar del negocio en general y con frecuencia la información relativa a sus respectivos costos de operación no está disponible (Korner, 2009).
- Es difícil desarrollar uno de los factores más importantes: la tasa de descuento (Korner, 2009; Derry, 2008).
- El riesgo de artículos especializados o los relacionados con tecnologías únicas son típicamente más altos que para unidades de usos alternativos de maquinaria ya que no se dispone de datos comparables de mercado (Budhbhatti, 1999). Por lo tanto, los riesgos y beneficios asociados con las máquinas son más altos que con los bienes inmuebles.

La principal restricción en la aplicación del enfoque de ingresos es que en algunas ocasiones el valor es exagerado. Esto sucede cuando el enfoque de ingresos es usado para valorar máquinas empleando un flujo de ingresos basados en una proporción del negocio en general (no un mercado de rentas). En este caso, el valuador debe restar la rentabilidad de la contribución de los activos. Entre ellos se incluyen el capital de trabajo neto, bienes inmuebles, marcas y nombres comerciales, relaciones con los clientes, la experiencia de los trabajadores y otros activos intangibles (Korner, 2009).

El término depreciación se refiere a la pérdida en el valor o utilidad de los activos fijos que se utilizan en operación durante periodos definidos de tiempo. En otras palabras, la depreciación es el proceso de repartir el costo de los activos en el número de años durante los cuales se reciben beneficios del activo. La pérdida de valor o utilidad de los activos es debido a causas como el desgaste, deterioro, la obsolescencia, la sustitución, la avería, caída en el valor de mercado, entre otros.

III. METODOLOGÍA

El método utilizado en la presente investigación es el análisis de regresión lineal múltiple. Este método es una extensión de la regresión lineal simple, solo con mayor número de variables predictoras, es decir, la regresión múltiple se utiliza para predecir el valor de una variable dependiente conociendo el valor de la influencia de las variables incluidas en el análisis (Moncada, 2005).

Según Moncada (2005), la información básica que proporciona el análisis de regresión múltiple es el coeficiente de correlación múltiple, que señala la correlación entre la variable dependiente y todas las variables independientes tomadas en conjunto. El coeficiente puede tomar valores entre 0 y 1.00; y entre mayor sea su valor significa que las variables independientes explican en mayor medida la variación de la variable dependiente. El coeficiente de determinación R^2 puede interpretarse como la proporción de la variabilidad de la variable dependiente, explicada en función de las variables independientes. Es decir, que tan bien se ajusta la ecuación de regresión múltiple a los datos de la muestra (Triola, 2013).

III.1 Marco teórico

En el presente trabajo de investigación se consideró un universo de doce máquinas formadoras de envase de vidrio de una empresa que se encuentra ubicada en la ciudad de Santiago de Querétaro. De las cuales, diez de estas máquinas son de diez secciones con una producción promedio al día de 500,000 botellas y dos de doce secciones con una producción promedio de 600,000 botellas. Una de las principales razones por las que se consideraron estas doce máquinas, es que esta empresa no solo es la más importante en México, sino en todo latino américa, por su capacidad de producción, la segunda razón es por la facilidad para la obtención de la información de las variables con las que se realizó la presente investigación.

En este trabajo de investigación se muestra cómo afectan los mantenimientos y las condiciones de operación en la eficiencia de las máquinas formadoras de envases de vidrio, tomando en consideración las bitácoras de mantenimiento de cada una de ellas, así como el entorno en el que efectúan sus actividades.

La metodología con la que se realizó la investigación es la siguiente:

1. Se recolectó la información de cada una de las variables por máquina, se elaboraron tablas para manejar de manera eficiente los datos obtenidos y se analizó mediante el método de Pearson la correlación que existe entre cada una de las variables para encontrar la relación que existe entre la eficiencia de la máquina, el porcentaje de defectivo, tiempo muerto, el porcentaje de mantenimiento y la velocidad promedio de trabajo.
2. Se utilizó el análisis de regresión lineal múltiple con los datos de cada una de las máquinas para determinar la relación que existe entre la eficiencia (variable dependiente) y el porcentaje de defectivo, tiempo muerto, porcentaje de mantenimiento y la velocidad de trabajo de las máquinas formadoras de envase (variable independientes o predictoras). En base al análisis de los resultados obtenidos, se decidió utilizar solo una muestra de seis máquinas para realizar el análisis final.
3. Se realizó estadística descriptiva de la población de máquinas formadoras de envases en conjunto para determinar la correlación entre las variables mencionadas con anterioridad y se utilizó el análisis regresión lineal múltiple con los datos del conjunto de máquinas para encontrar la relación más representativa que existe entre la eficiencia, el porcentaje de defectivo, tiempo muerto, el porcentaje de mantenimiento y la velocidad promedio de trabajo.

4. Considerando los resultados de las regresiones lineales múltiples se determinó un factor de depreciación que indica el estado de conservación de la máquina formadora de envases tomando como referencia los mantenimientos.

III.2 Obtención de datos

Se solicitó al departamento de Estadística e Ingeniería de Proyectos la información de las doce máquinas, comprendida entre el 1 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2013. Se consideró solamente este periodo, debido a que la información almacenada con anterioridad se encuentra en un software obsoleto, que presenta algunas deficiencias y no es confiable. Las variables que utilizamos para realizar esta investigación son: la eficiencia de la máquina (Y), porcentaje de defectivo (X_1), tiempo muerto (X_2) porcentaje de mantenimiento (X_3) y velocidad de máquina (X_4). Solo se utilizaron estas variables debido a que son las que contribuyen directamente en la eficiencia de las máquinas formadoras de envases de vidrio, aunque pudieran existir algunas otras. Estos conceptos fueron proporcionados mediante resultados diarios por cada una de las máquinas.

A su vez, para reducir el tamaño de la población, se calcularon los promedios por mes de cada una de las variables de las máquinas, de esta manera la población se redujo de manera significativa.

Se analizaron mediante el método de Pearson todas las posibles combinaciones de las variables utilizadas en el presente trabajo de investigación para encontrar la correlación que existe entre ellas. Tres de las combinaciones tuvieron un coeficiente de correlación inversa y una, coeficiente de correlación directa. El resto de las combinaciones obtuvieron un coeficiente de correlación inferior al 10%. Cuando el valor del coeficiente de correlación se acerca a cero, significa que existe muy poca correlación entre las variables que se están analizando.

Las combinaciones que obtuvieron coeficiente de correlación inversa fueron las siguientes:

1. Eficiencia *vs* Porcentaje de defectivo.
2. Eficiencia *vs* Tiempo muerto.
3. Velocidad de máquina *vs* Porcentaje de defectivo.

En las cuales el comportamiento de las variables es el adecuado. Analizando el coeficiente de correlación de la combinación eficiencia *vs* porcentaje de defectivo, al incrementarse el porcentaje de defectivo en la máquina, la eficiencia de esta debe disminuir. Algo similar sucedió en el análisis en la combinación eficiencia *vs* tiempo muerto, ya que al incrementarse la variable tiempo muerto, la eficiencia de la máquina también disminuyó. En el caso de la tercera combinación al incrementarse el porcentaje de defectivo, una de las acciones para estabilizar el proceso es disminuir la velocidad de trabajo de la máquina.

En el análisis de las variables tiempo muerto *vs* porcentaje de defectivo se obtiene un coeficiente de correlación directo, esto quiere decir, que al tener un incremento en el tiempo muerto de la máquina, el porcentaje de defectivo también se incrementará. El comportamiento de las variables es correcto, esto es porque en el proceso de fabricación de envases de vidrio se recomienda en la manera de lo posible tener la mayor continuidad en las máquinas, para mantener un mejor control en la temperatura de la moldura, ya que al existir variaciones en esta, existe mayor riesgo en generar defectos en el envase, principalmente fracturas.

A continuación se realiza una breve descripción de las variables que se utilizaron en la presente investigación:

- Eficiencia de la máquina o PTM
- Defectivo
- Tiempo Muerto
- Porcentaje de Mantenimiento
- Velocidad Promedio de Trabajo

III.2.1 Definición de eficiencia o PTM

La eficiencia o Pack to Melt (PTM) por sus siglas en inglés que significan empaçado vs fundido, es la relación que existe entre las toneladas empaçadas y las toneladas fundidas, esto multiplicado por cien

$$\text{PTM} = (\text{Toneladas Empacadas} / \text{Toneladas Fundidas}) * 100 \quad (3)$$

Dónde:

Toneladas Empacadas: son las piezas que llegan a bodega de producto terminado expresadas en toneladas.

Toneladas Fundidas: es la cantidad de mezclas alimentadas al horno menos el porcentaje de fusión, más el vidrio reciclado.

III.2.2 Definición de Defectivo

Según el Manual de Calidad de Envases, se entiende por defectivo a la desviación de algún atributo o variable que presenta el envase con respecto a una especificación o referencia acordada.

III.2.3 Definición de tiempo muerto

El tiempo muerto de la máquina es la relación que existe entre las botellas metidas al templador u horno de recocido y las velas cortadas, esto multiplicado por cien.

III.2.4 Definición de mantenimiento

Cuando hablamos de mantenimientos, nos referimos al cumplimiento en tiempo y forma de la cantidad de mantenimientos que deberían haberse efectuado a las máquinas, tomando en consideración las recomendaciones del fabricante. Las frecuencias de mantenimientos que se deben llevar en las máquinas I.S son:

Mantenimiento Menor: Cada 3.5 años y/o 24.8 millones de ciclos por sección.

Mantenimiento Mayor: Cada 7 años y/o 49.7 millones de ciclos por sección.

Cambio de Máquina: Cada 12 años.

III.2.5 Definición de velocidad de máquina

Cuando hablamos de velocidad de la máquina, nos referimos al número de ciclos realizados por sección en un minuto. La velocidad de trabajo de la máquina va en relación con el proceso de fabricación, el peso y el tamaño del envase. Con esto podemos decir que entre más pequeño sea el envase, la velocidad de trabajo de la máquina será mayor.

El departamento de mantenimiento proporcionó las fechas de instalación de las máquinas formadoras de envases (ver tabla 3.1), las bitácoras de mantenimiento de cada una de las máquinas, así como información de las frecuencias de los mantenimientos recomendados por el fabricante.

Tabla 3.1 Fecha de instalación de máquinas y últimos mantenimientos

MÁQUINA	No. SERIE	No. SECCIONES	FECHA DE INSTALACIÓN	FECHA ÚLTIMO MANTENIMIENTO
10	3197	10	01/04/2013	01/04/2013
11	3169	10	01/04/2013	01/04/2013
12	3180	10	01/01/2012	01/01/2012
13	3159	10	01/01/2010	01/01/2010
14	3196	12	01/05/2013	01/05/2013
21	3161	10	01/03/2011	01/03/2011
22	3160	10	01/03/2010	01/03/2010
23	2964	10	01/08/1997	01/01/2014
24	3090	10	01/01/2006	01/01/2014
31	3168	10	01/05/2011	01/05/2011
32	3162	10	01/04/2010	01/04/2010
33	3174	12	01/12/2011	01/12/2011

El porcentaje de mantenimiento que se utilizó en las tablas se calculó de la siguiente manera: Según el fabricante, después de haberse instalado la máquina, recomienda dar un mantenimiento menor a los 3.5 años y/o 24.8 millones de ciclos por sección. A los siete años de servicio un mantenimiento mayor y/o 49.7 millones de ciclos por sección. El responsable del departamento de mantenimiento referenció que generalmente el mantenimiento menor no se le realiza a las máquinas, solo trabajaba en mantenimientos preventivos en algunos componentes críticos de la máquina. Tienen implementado un sistema en el cual se generan automáticamente inspecciones con frecuencias previamente definidas (semanal, quincenal, mensual, etc.) para los componentes de las máquinas, así como los mantenimientos preventivos necesarios para cada uno de estos. Con la información obtenida de las inspecciones se programan los mantenimientos correctivos. De esta manera se mantienen en operación las máquinas hasta que se aproximan a la fecha considerada para el mantenimiento mayor. Estos a su vez, se programan de acuerdo a la disponibilidad del programa de producción, generalmente dentro de los próximos seis meses después de cumplir los siete años de trabajo.

Con esta información se determinó que, cuando la máquina está recién instalada el primer mes de trabajo el porcentaje de mantenimiento es de 100% y conforme avanzan los meses

de trabajo de la máquina, este porcentaje disminuye en línea recta hasta llegar a 0% cuando la máquina cumplió los siete años de trabajo.

III.3 Análisis de las variables por máquina

Se generó una matriz en EXCEL con los datos de las variables antes descritas, utilizando los promedios por mes en el periodo comprendido entre enero de 2010 y diciembre de 2013. Teniendo la información en una tabla, se aplicó el análisis regresión lineal múltiple a los valores de cada una de las máquinas, considerando la eficiencia como variable dependiente y el porcentaje de defectivo, tiempo muerto, porcentaje de mantenimiento y velocidad promedio como variables independientes o predictoras.

Con los resultados del análisis de regresión lineal múltiple se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple, el coeficiente de determinación R^2 y una ecuación que muestra el comportamiento de los datos de cada una de las máquinas.

Donde; el coeficiente de correlación establece el grado de asociación entre la variable dependiente y las variables independientes (Montgomery, *et al.*, 2011).

El coeficiente de determinación R^2 nos indica el porcentaje de los datos analizados que se sitúan sobre la recta. Según García, *et al.*, (2009) si el ajuste es perfecto, es decir, todos los datos analizados se sitúan sobre la recta, el valor de $R^2 = 1$. Cuando el valor del coeficiente es mayor a 0.75, el modelo generado suele aceptarse. Si el coeficiente es inferior a dicho valor, concluiremos que la relación elegida entre las variables analizadas no es adecuada.

Aunque todos los coeficientes de correlación múltiple y los coeficiente de determinación R^2 generados por el análisis de regresión lineal múltiple de cada una de las máquinas fueron mayores a 85%, se decidió trabajar con las seis máquinas en cuyas expresiones la constante fuera menor a 97%, ya que el resto se encuentra entre valores de 99.4 y 106.2%. Esto porque es incorrecto, ya que al sustituir en la expresión con un valor de cero en sus cuatro

variables predictoras, una máquina tendrá una eficiencia de 106%. Bajo esta consideración las máquinas 10, 11, 12, 13, 31 y 32 se tomaron en cuenta para realizar el análisis final, necesario para estimar el factor de depreciación de la máquina formadora de envases.

III.4 Análisis de las variables del conjunto de máquinas

Teniendo el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación R^2 y las ecuaciones generadas por los análisis de regresión lineal múltiple de cada una de las máquinas que se consideraron para el análisis de variables del conjunto de máquinas, se procedió a establecer una matriz con las variables de cada una de las máquinas analizadas. Nuevamente esta información se trabajó en una tabla de EXCEL para posteriormente proceder a la aplicación del análisis de regresión lineal múltiple.

Con las variables analizadas por el método de regresión se obtuvo el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación R^2 y una ecuación con la cual se calculó el factor de depreciación para la máquina formadora de envases, considerando los mantenimientos y las eficiencias de estas.

III.5 Determinación del factor de depreciación

Para determinar el factor de depreciación de una máquina formadora de envases de vidrio, se utilizó la información proporcionada del mes de diciembre de 2013 por el departamento de estadística y se sustituyeron las variables de cada una de las máquinas en la ecuación generada por el análisis de regresión del conjunto de máquinas.

El resultado que se obtuvo es la eficiencia pronosticada por el análisis de regresión para las máquinas formadoras de envases. La eficiencia pronosticada es necesaria para obtener el

porcentaje de depreciación, ya que éste es la diferencia entre la unidad y la eficiencia pronosticada de la máquina.

Para encontrar el factor de depreciación de la máquina formadora de envases de vidrio, se debe restar a la unidad el porcentaje de depreciación. El valor resultante es el factor de depreciación considerando los mantenimientos a las máquinas y debe aplicarse en la ecuación de que utilizamos para encontrar el Valor Neto de Reposición de la maquinaria.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 Resultados

Después de analizar los datos proporcionados por el departamento de estadística, en la tabla 4.1 se muestran las ecuaciones generadas por el análisis de regresión lineal de las doce máquinas.

A continuación se presenta la interpretación de los resultados obtenidos por cada una de las máquinas formadoras de envases de vidrio utilizadas en la muestra. Cabe mencionar que del análisis de los resultados se tomaron las ecuaciones que tuvieron el comportamiento lógico con el desempeño de las variables.

Tabla 4.1 Ecuaciones generadas por análisis de regresión lineal por máquina

MÁQUINA	ECUACIÓN
10	$Y = 97.5248 - 0.9570X_1 - 0.3768X_2 + 2.3714X_3 - 0.1248X_4$
11	$Y = 97.7072 - 0.9517X_1 - 0.8536X_2 + 1.2622X_3 + 0.0773X_4$
12	$Y = 95.6575 - 1.0848X_1 - 0.3482X_2 - 1.0100X_3 + 0.2080X_4$
13	$Y = 93.4547 - 1.1855X_1 - 0.1514X_2 - 1.1634X_3 + 0.3105X_4$
14	$Y = 106.2554 - 1.2495X_1 - 0.5420X_2 - 1.3791X_3 - 0.3528X_4$
21	$Y = 105.5646 - 1.1808X_1 + 0.1801X_2 - 7.9927X_3 - 0.1542X_4$
22	$Y = 102.8537 - 0.8713X_1 + 0.0956X_2 - 9.0437X_3 - 0.3052X_4$
23	$Y = 102.1902 - 1.3095X_1 + 0.2348X_2 - 6.1319X_3 - 0.2470X_4$
24	$Y = 99.4723 - 1.0531X_1 + 0.0988X_2 - 4.7659X_3 - 0.2499X_4$
31	$Y = 92.1803 - 0.9696X_1 - 0.2256X_2 + 0.9787X_3 + 0.3561X_4$
32	$Y = 89.0862 - 0.5173X_1 - 0.4733X_2 + 0.8988X_3 + 0.3233X_4$
33	$Y = 100.5801 - 1.6143X_1 + 0.0805X_2 + 1.2016X_3 + 0.0170X_4$

IV.1.1 Interpretación de resultados de máquina # 10

Al interpretar los resultados del análisis de regresión de la máquina 10, observamos que se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 90.47%, siendo éste, el octavo mejor valor del conjunto de datos obtenidos. El valor del coeficiente de determinación R^2 nos proporciona la proporción de la variación de los resultados que puede explicarse mediante este modelo, siendo para esta máquina de 81.85%. La ecuación generada por el análisis de regresión lineal múltiple para esta máquina es la siguiente:

$$Y = 97.5248 - 0.9570X_1 - 0.3768X_2 + 2.3714X_3 - 0.1248X_4$$

En la ecuación observamos que el comportamiento de la variable dependiente Y, es inversamente proporcional al comportamiento de las variables X_1 , X_2 y X_3 , es decir, cuando existe un incremento en cualquiera de estas variables la eficiencia de la máquina disminuye. Caso contrario con el desempeño de la variable X_3 , cuando existe un incremento en esta variable, el comportamiento de la variable dependiente es directamente proporcional.

La ecuación de esta máquina, se ajusta a la realidad en cuanto a la interrelación entre las cinco variables, esto debido a que la eficiencia de la máquina se ve directamente afectada al tener un incremento en el porcentaje de defectivo, tiempo muerto o en la velocidad promedio de trabajo. Aplicar correctamente los mantenimientos recomendados por el fabricante garantiza un mejor desempeño de las máquinas, razón por la cual se ve reflejado en un incremento en la eficiencia de la máquina. En la figura 4.1 se muestra una imagen de la máquina # 10.



Figura 4.1 Imagen de máquina # 10

IV.1.2 Interpretación de resultados de máquina # 11

Observando los datos obtenidos del análisis de la regresión lineal múltiple de la máquina 11, el coeficiente de correlación múltiple es de 92.42% (ver tabla 3.2) y el coeficiente R^2 de 85.41%. La ecuación generada por el análisis de regresión lineal múltiple para esta máquina es la siguiente:

$$Y = 97.7072 - 0.9517X_1 - 0.8536X_2 + 1.2622X_3 + 0.0773X_4$$

Al interpretar la ecuación observamos que el comportamiento de la variable dependiente Y , es inversamente proporcional al comportamiento de las variables X_1 y X_2 , es decir, al incrementar el valor de las variables porcentaje de defectivo y tiempo muerto la eficiencia de la máquina disminuye. Caso contrario con el desempeño de la variable X_3 y X_4 , que su comportamiento es directamente proporcional al de la eficiencia de la máquina.

En la ecuación generada por los datos de esta máquina, el desempeño de las variables X_1 , X_2 y X_3 se ajusta perfectamente a la realidad, ya que al tener un incremento en el porcentaje de defectivo y tiempo muerto la eficiencia de la máquina debe disminuir. Mientras que, al mejorar el cumplimiento de los programas de mantenimiento contribuye a incrementar la eficiencia de la máquina, aunque en esta ecuación se observa que al incrementar la velocidad promedio de trabajo se beneficia la eficiencia de la máquina, no siempre sucede de esta manera, ya que comúnmente al incrementar las velocidades trae como consecuencia mayor porcentaje de defectivo y mayor necesidad de mantenimientos en la máquina. En la figura 4.2 se muestra una imagen de la máquina # 11.



Figura 4.2 Imagen de máquina # 11

IV.1.3 Interpretación de resultados de máquina # 12

Observando los datos obtenidos del análisis de la regresión lineal múltiple de la máquina 12, el coeficiente de correlación múltiple es de 93.60% (ver tabla 3.2) y el coeficiente R^2 de 87.62%. La ecuación generada por el análisis de regresión lineal múltiple para esta máquina es la siguiente:

$$Y = 95.6575 - 1.0848X_1 - 0.3482X_2 - 1.0100X_3 + 0.2080X_4$$

En la ecuación anterior se observa que al incrementarse el valor de las variables X_1 , X_2 y X_3 el comportamiento de la variable dependiente Y es inversamente proporcional, por lo tanto la eficiencia de la máquina disminuye su valor. En el caso de la variable X_4 , el comportamiento de la variable dependiente Y es directamente proporcional, ya que al aumentar el valor en la variable X_4 se mejora el desempeño de la máquina.

En la ecuación generada por los datos de esta máquina, se observa que el comportamiento de las variables X_1 y X_2 es adecuado al desempeño de la máquina cuando se encuentra en operación, ya que al incrementarse el valor del porcentaje de defectivo y tiempo muerto la eficiencia de la máquina debe disminuir. El valor obtenido por la variable X_3 no es congruente, esto porque en el resultado de la fórmula, al incrementarse los mantenimientos en la máquina el valor de la eficiencia disminuye. Al tener un mantenimiento adecuado, el desempeño de los mecanismos lo harán con mayor precisión, por lo que se disminuirá la generación de defectivo provocado por mecanismos que tienen variación de velocidad, movimientos deficientes, entre otros y se reducirá el tiempo muerto provocado por paro de secciones causadas por descomposturas. Por esta razón al incrementarse el valor en esta variable debería de mejorar la eficiencia de la máquina. La descripción de la variable X_4 , sugiere que al tener un mínimo incremento en la velocidad de la máquina pudiera ayudar para incrementar la eficiencia de la máquina. En la figura 4.3 se muestra la imagen de la máquina # 12.



Figura 4.3 Imagen de máquina # 12

IV.1.4 Interpretación de resultados de máquina # 13

Al analizar la información proporcionada de las variables por el método de regresión lineal múltiple, el coeficiente de correlación múltiple generado por el análisis fue de 88.04%, siendo el mínimo aceptable del conjunto de máquinas analizadas y el coeficiente R^2 obtenido fue de 77.71%. La ecuación generada por el análisis de regresión lineal múltiple para esta máquina es la siguiente:

$$Y = 93.4547 - 1.1855X_1 - 0.1514X_2 - 1.1634X_3 + 0.3105X_4$$

En la ecuación anterior se observa que al incrementarse el valor de las variables X_1 , X_2 y X_3 el comportamiento de la variable dependiente Y es inversamente proporcional, por lo tanto la eficiencia de la máquina debe disminuir. En el caso de la variable X_4 el comportamiento de la variable dependiente es directamente proporcional, ya que al incrementarse el valor la variable X_4 , la variable Y también se incrementará.

El comportamiento de las variables X_1 y X_2 es congruente con lo que los encargados de fabricación trabajan diariamente, ya que estas influyen directamente en el resultado de las máquinas. Cuando una máquina tiene alto porcentaje de defectivo y tiempo muerto, su eficiencia se ve mermada. La variable X_3 muestra un comportamiento incorrecto, debido a que sugiere que con adecuados mantenimientos la máquina disminuirá su eficiencia, opuesto a la función del mantenimiento que es conservar o restablecer equipos para que puedan cumplir con un servicio determinado de una manera eficiente y eficaz. La ecuación sugiere en la variable X_4 , que al incrementar la velocidad de trabajo la eficiencia de la máquina será beneficiada. En la figura 4.4 se muestra la imagen de la máquina # 13.



Figura 4.4 Imagen de máquina # 13

IV.1.5 Interpretación de resultados de máquina # 14

Analizando los resultados del análisis de regresión lineal encontramos que el coeficiente de correlación múltiple es de 97.78% y con un coeficiente R^2 de 95.62%, siendo los valores más altos de todos los generados por los datos de cada una de las máquinas. Esto

significa que el 95.62% de los datos analizados se ajustan a la recta generada por la siguiente ecuación:

$$Y = 106.2554 - 1.2495X_1 - 0.5420X_2 - 1.3791X_3 - 0.3528X_4$$

En esta ecuación, el resultado de las cuatro variables es negativo. El comportamiento de las variables es inversamente proporcional al comportamiento de la variable dependiente, aunque en esta ecuación el valor de la constante se encuentra por arriba del 100% y aun teniendo cero en los valores de las cuatro variables el resultado de la máquina sería de 106.25%, lo cual es incorrecto, ya que una máquina es imposible que no genere defectos en sus productos, no tenga paros por fallas, no sean necesarios los mantenimientos y aun con estas variables la eficiencia esté en 106%. En la figura 4.5 se muestra la imagen de la máquina # 14.



Figura 4.5 Imagen de máquina # 14

IV.1.6 Interpretación de resultados de máquina # 21

Al analizar la información proporcionada de las variables por el método de regresión lineal múltiple, el coeficiente de correlación múltiple generado por el análisis fue de 93.60%, y el coeficiente R^2 obtenido fue de 87.61%. La ecuación generada por el análisis de regresión lineal múltiple para esta máquina es la siguiente:

$$Y = 105.5646 - 1.1808X_1 + 0.1801X_2 - 7.9927X_3 - 0.1542X_4$$

En la ecuación anterior se observa que al incrementarse el valor de las variables X_1 , y X_4 el comportamiento de la variable dependiente Y es inversamente proporcional, por lo tanto la eficiencia de la máquina debe disminuir. En el caso de la variable X_2 el comportamiento de la variable dependiente es directamente proporcional, ya que al incrementarse el valor la variable X_2 , la variable Y también se incrementará. En la interpretación de la variable X_3 , observamos que al incrementar el porcentaje de mantenimientos la variable dependiente disminuirá.

El comportamiento de las variables porcentaje de defectivo y velocidad de trabajo es correcto, ya que al incrementarse cualquiera de estas la eficiencia de la máquina se verá afectada. Al interpretar el valor de la variable porcentaje de tiempo muerto, se observó que al incrementar su valor la eficiencia de la máquina también se incrementará, patrón que es incorrecto, ya que al incrementarse el defectivo la eficiencia de la máquina debe disminuir. El resultado de la variable porcentaje de mantenimiento sugiere que al incrementarse el mantenimiento en la máquina, la eficiencia se afectará de manera negativa, lo que resulta incorrecto, ya que con adecuados mantenimientos el desempeño de la máquina mejorará y como consecuencia su eficiencia se verá beneficiada. En la figura 4.6 se muestra la imagen de la máquina número # 21.



Figura 4.6 Imagen de máquina # 21

IV.1.7 Interpretación de resultados de máquina # 22

Al observar la información proporcionada por el análisis de regresión lineal múltiple, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 90.16% y un coeficiente R^2 de 83.90%, esto quiere decir que el 83.90% de los valores analizados se ajustan a la recta generada por la siguiente ecuación:

$$Y = 102.8537 - 0.8713X_1 + 0.0956X_2 - 9.0437X_3 - 0.3052X_4$$

En la ecuación anterior, el desempeño de las variables de es exactamente igual al de la máquina 21, donde el comportamiento de las variables porcentaje de defectivo y velocidad de trabajo es correcto, ya que al incrementarse cualquiera de estas la eficiencia de la máquina se verá afectada. Al interpretar el valor de la variable porcentaje de tiempo muerto, se observa que al incrementar su valor la eficiencia de la máquina también se incrementará, patrón que es incorrecto, ya que al incrementarse el tiempo muerto en la máquina, la eficiencia de ésta debe disminuir. El resultado de la variable porcentaje de mantenimiento sugiere que al incrementarse el mantenimiento en la máquina, la eficiencia se afectará de manera negativa, lo que resulta

incorrecto, ya que con adecuados mantenimientos el desempeño de la máquina mejorará y como consecuencia su eficiencia se verá beneficiada. En la figura 4.7 se muestra la imagen de la máquina # 22.



Figura 4.7 Fotografía de máquina # 22

IV.1.8 Interpretación de resultados de máquina # 23

Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para esta máquina nos muestran un coeficiente de correlación múltiple de 88.48%, un coeficiente R^2 de 78.30% y la siguiente ecuación de la recta generada por este modelo, en la que se ajustan el 78.3% de los datos analizados.

$$Y = 102.1902 - 1.3095X_1 + 0.2348X_2 - 6.1319X_3 - 0.2470X_4$$

Esta ecuación muestra un comportamiento idéntico al de las variables de las máquinas 21 y 22, donde el comportamiento del porcentaje de defectivo y velocidad de trabajo es correcto, ya que al incrementarse cualquiera de estas, la eficiencia de la máquina debe disminuir. Al

interpretar el valor de la variable porcentaje de tiempo muerto, se observa que al incrementar su valor, la eficiencia de la máquina también se incrementará, patrón que es incorrecto, ya que al incrementarse el tiempo muerto en la máquina, la eficiencia de esta disminuirá. El resultado de la variable porcentaje de mantenimiento sugiere que al incrementarse el mantenimiento en la máquina, la eficiencia se afectará de manera negativa, lo que resulta incorrecto, ya que con adecuados mantenimientos el desempeño de la máquina mejorará y como consecuencia su eficiencia se verá beneficiada. En la figura 4.8 se muestra la imagen de la máquina # 23.



Figura 4.8 Imagen de máquina # 23

IV.1.9 Interpretación de resultados de máquina # 24

En los resultados del análisis de regresión lineal múltiple obtenido con los datos recabados de la máquina, el coeficiente de correlación lineal múltiple es de 94.05%, un coeficiente R^2 de 88.46% y la ecuación generada por este modelo se muestra a continuación:

$$Y = 99.4723 - 1.0531X_1 + 0.0988X_2 - 4.7659X_3 - 0.2499X_4$$

Esta ecuación muestra un comportamiento de las variables idéntico con los obtenidos en las ecuaciones de las máquinas 21, 22 y 23, donde el comportamiento del porcentaje de defectivo y velocidad de trabajo es correcto, ya que al incrementarse cualquiera de estas, la eficiencia de la máquina debe disminuir. Al interpretar el valor de la variable porcentaje de tiempo muerto, se observa que al incrementar su valor, la eficiencia de la máquina también se incrementará, patrón que es incorrecto, ya que al incrementarse el tiempo muerto en la máquina, la eficiencia de esta debe disminuir. El resultado de la variable porcentaje de mantenimiento sugiere que al incrementarse el mantenimiento en la máquina, la eficiencia se afectará de manera negativa, lo que resulta incorrecto, ya que con adecuados mantenimientos el desempeño de la máquina mejorará y como consecuencia su eficiencia se verá beneficiada. En la figura 4.9 se muestra la imagen de la máquina # 24.



Figura 4.9 Imagen de máquina # 24

IV.1.10 Interpretación de resultados de máquina # 31

En los resultados del análisis de regresión lineal múltiple con la información de la máquina 31, se obtuvo un coeficiente de correlación de 82%, un coeficiente R^2 de 67.24% y la ecuación generada por el este modelo es la siguiente:

$$Y = 92.1803 - 0.9696X_1 - 0.2256X_2 + 0.9787X_3 + 0.3561X_4$$

En esta ecuación los resultados de las variables X_1 y X_2 muestran un correcto comportamiento, ya que este es inversamente proporcional al de la variable dependiente Y , es decir, al tener un incremento en los valores de las variables defectivo y tiempo muerto, la eficiencia de la máquina debe disminuir. El comportamiento de la variable X_3 , es directamente proporcional al de la variable dependiente, ya que al incrementarse el porcentaje de mantenimiento en la máquina la eficiencia de esta, se verá beneficiada. Esta ecuación sugiere que al tener un pequeño incremento en la velocidad de la máquina, la eficiencia puede mejorar. En la figura 4.10 se muestra la imagen de la máquina # 31.



Figura 4.10 Imagen de máquina # 31

IV.1.11 Interpretación de resultados de máquina # 32

En los resultados del análisis de regresión lineal múltiple con la información de la máquina 31, se obtuvo un coeficiente de correlación de 74.87%, un coeficiente R^2 de 56.05% y la ecuación generada por el este modelo es la siguiente:

$$Y = 89.0862 - 0.5173X_1 - 0.4733X_2 + 0.8988X_3 + 0.3233X_4$$

Al interpretar los resultados de la ecuación anterior observamos que las variables X_1 y X_2 muestran un correcto comportamiento, ya que este es inversamente proporcional al de la variable dependiente Y , es decir, al tener un incremento en los valores de las variables defectivo y tiempo muerto, la eficiencia de la máquina debe disminuir. El comportamiento de la variable X_3 , es directamente proporcional al de la variable dependiente, ya que al incrementarse el porcentaje de mantenimiento en la máquina la eficiencia de esta, será beneficiada. Esta ecuación sugiere que al tener un pequeño incremento en la velocidad de la máquina, la eficiencia puede mejorar. En la figura 4.11 se muestra la imagen de la máquina # 32.



Figura 4.11 Imagen de máquina # 32

IV.1.12 Interpretación de resultados de máquina # 33

Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para esta máquina nos muestran un coeficiente de correlación múltiple de 95.20%, un coeficiente R^2 de 90.63% y la siguiente ecuación de la recta generada por este modelo, en la que se ajustan el 90.63% de los datos analizados.

$$Y = 100.5801 - 1.6143X_1 + 0.0805X_2 + 1.2016X_3 + 0.0170X_4$$

Al interpretar los resultados de la expresión anterior se observa que el comportamiento de la variable X_1 es correcto, ya que al incrementar el valor de esta variable, el comportamiento de la variable dependiente debe disminuir. El comportamiento de la variable X_2 es incorrecto, ya que la ecuación sugiere que al incrementarse el valor del tiempo muerto, la eficiencia de la máquina mejorará. En esta ecuación el desempeño de la variable X_3 es congruente con el desempeño de la variable dependiente, ya que al incrementarse el porcentaje de mantenimiento la eficiencia se verá beneficiada. Además, con el valor obtenido en la variable X_4 , sugiere que al tener pequeños incrementos en la velocidad de la máquina la eficiencia puede ser mayor. En la figura 4.12 se muestra la imagen de la máquina 33.



Figura 4.12 Imagen de máquina # 33

Analizando los resultados de las expresiones de cada una de las máquinas mencionadas con anterioridad, consideramos que solo las máquinas 10, 11, 12, 13, 31 y 32 se utilizaron para el análisis de regresión lineal de las máquinas en conjunto, esto debido a que son las ecuaciones que se ajustan al correcto comportamiento de las variables. En la tabla 4.2 se muestran las ecuaciones de las máquinas que se consideraron para realizar el análisis de regresión lineal de las máquinas en conjunto.

Tabla 4.2 Ecuaciones de máquinas utilizadas para análisis final

MÁQUINA	ECUACIÓN
10	$Y = 97.5248 - 0.9570X_1 - 0.3768X_2 + 2.3714X_3 - 0.1248X_4$
11	$Y = 97.7072 - 0.9517X_1 - 0.8536X_2 + 1.2622X_3 + 0.0773X_4$
12	$Y = 95.6575 - 1.0848X_1 - 0.3482X_2 - 1.0100X_3 + 0.2080X_4$
13	$Y = 93.4547 - 1.1855X_1 - 0.1514X_2 - 1.1634X_3 + 0.3105X_4$
31	$Y = 92.1803 - 0.9696X_1 - 0.2256X_2 + 0.9787X_3 + 0.3561X_4$
32	$Y = 89.0862 - 0.5173X_1 - 0.4733X_2 + 0.8988X_3 + 0.3233X_4$

IV.2 Análisis de las variables del conjunto de máquinas

Para realizar el análisis de las máquinas en conjunto, se utilizaron los datos obtenidos de las máquinas 10, 11, 12, 13, 31 y 32. Esto debido a que las ecuaciones de estas máquinas fueron las que se ajustaron al comportamiento correcto de las variables, con esto se quiere decir que al tener un incremento en el porcentaje de defectivo y tiempo muerto, la eficiencia de la máquina será afectada. La variable velocidad promedio de trabajo sugiere en cinco de las seis ecuaciones que al tener un ligero incremento beneficiará la eficiencia de esta.

Al observar los resultados del análisis de regresión aplicado al conjunto de datos de las máquinas antes mencionadas, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal múltiple de 86.37% y un coeficiente R^2 de 74.6%. Es decir, el 74.6% de los datos analizados se ajustan a la recta generada por la siguiente ecuación obtenida del análisis de regresión lineal múltiple:

$$Y = 95.2082 - 0.8430X_1 - 0.4428X_2 + 0.7103X_3 + 0.0787X_4$$

En la ecuación anterior, el comportamiento de las variables X_1 y X_2 es inversamente proporcional al de la variable dependiente, es decir, al incrementar el valor del porcentaje de defectivo, tiempo muerto y la velocidad de trabajo, la eficiencia de la máquina debe disminuir, lo cual es correcto, ya que estas variables afectan directamente el resultado de la máquina. En el caso de la variable X_3 , el comportamiento es directamente proporcional al de la variable dependiente, esto debido a, que al cumplir con un adecuado programa de mantenimiento el desempeño de la máquina se verá beneficiado, como consecuencia la eficiencia de la máquina será mucho mejor. El comportamiento de la variable X_4 sugiere que al tener un pequeño incremento en la velocidad de las máquinas, su eficiencia será beneficiada.

Es necesario comentar que la ecuación antes mencionada puede ser aplicada, siempre y cuando, por lo menos alguna de las variables sea mayor a “cero”, ya que de lo contrario, el valor pronosticado de la eficiencia será incorrecto.

Al sustituir los resultados del mes de diciembre de 2013 de las doce máquinas en la expresión generada por el análisis de regresión lineal del conjunto de las máquinas (Tabla 4.3), las eficiencias pronosticadas por el modelo se muestran en la tabla 4.4

Tabla 4.3 Resultados diciembre de 2013 por máquina.

MÁQ.	PTM	DEF (X_1)	TM (X_2)	MTO. (X_3)	VEL. (X_4)
10	89.4	7.5	3.7	0.87	14.4
11	89.7	9.8	3.2	0.87	14.0
12	91.0	6.1	3.6	0.73	14.8
13	88.3	9.1	4.8	0.4	16.8
14	91.2	5.9	2.7	0.92	12.4
21	85.2	11.1	4.6	0.61	12.8
22	89.2	5.2	3.8	0.48	10.3
23	86.6	12.2	3.8	0.01	11.2
24	89.4	7.5	2.8	0.01	10.6
31	86.0	9.2	4.2	0.63	12.8
32	84.5	8.1	3.4	0.48	12.6
33	87.1	8.3	4.3	0.71	12.1

Al hacer la comparación entre la eficiencia operativa de las máquinas en el mes de diciembre de 2013 (columna dos de tabla 4.2) con la eficiencia pronosticada al utilizar la ecuación general (ver tabla 4.3), se observa que en las máquinas 10, 12, 14, 21, 24 y 33 son las que más se ajustan al comportamiento descrito por la ecuación anterior, ya que existe un margen de error de +/- 0.9%. El resto de las máquinas muestran una diferencia entre la eficiencia operativa y la pronosticada mayor al 1%, siendo la máquina 32 la más distante con 3.8%.

Tabla 4.4 Eficiencias pronosticadas por el modelo de regresión lineal múltiple.

TABLA DE EFICIENCIAS CALCULADAS	
MÁQ. 10	89.1
MÁQ. 11	87.0
MÁQ. 12	90.3
MÁQ. 13	86.7
MÁQ. 14	91.0
MÁQ. 21	85.1
MÁQ. 22	91.0
MÁQ. 23	83.7
MÁQ. 24	88.6
MÁQ. 31	87.0
MÁQ. 32	88.3
MÁQ. 33	88.0

IV.3 Cálculo del factor de depreciación para la máquina I. S. considerando los mantenimientos

Para encontrar el factor de depreciación de la máquina formadora de envases de vidrio, como primer paso se debe calcular el porcentaje de depreciación de la máquina mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ de Depreciación} = (100 - \text{Eficiencia pronosticada}) / 100 \quad (4)$$

Donde, la eficiencia pronosticada es el resultado de sustituir en la ecuación general propuesta, los valores del promedio del último mes de trabajo de las variables porcentaje de defectivo, tiempo muerto, porcentaje de mantenimiento y velocidad de trabajo, obtenidos por la máquina que será valuada.

En la tabla 4.5 se muestran los porcentajes de depreciación calculados para cada una de las máquinas utilizadas en la presente investigación.

Tabla 4.5 Porcentaje de depreciación calculado por máquina.

PORCENTAJE DE DEPRECIACIÓN POR MÁQUINAS	
MÁQ. 10	0.11
MÁQ. 11	0.13
MÁQ. 12	0.10
MÁQ. 13	0.14
MÁQ. 14	0.09
MÁQ. 21	0.15
MÁQ. 22	0.10
MÁQ. 23	0.17
MÁQ. 24	0.12
MÁQ. 31	0.13
MÁQ. 32	0.12
MÁQ. 33	0.12

Para encontrar el factor propuesto de depreciación considerando los mantenimientos realizados a las máquinas formadoras de envases, es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de Depreciación} = 1 - \% \text{ de Depreciación} \quad (5)$$

El factor de depreciación obtenido será un valor decimal que podrá ser utilizado en la fórmula para el cálculo del Valor Neto de Reposición de las máquinas formadoras de envases de vidrio.

En la tabla 4.6 se muestran los factores de depreciación obtenidos para las doce máquinas del presente trabajo de investigación.

Tabla 4.6 Factores de depreciación por máquina

FACTORES DE DEPRECIACIÓN POR MÁQUINA	
MÁQ. 10	0.89
MÁQ. 11	0.87
MÁQ. 12	0.90
MÁQ. 13	0.86
MÁQ. 14	0.91
MÁQ. 21	0.85
MÁQ. 22	0.90
MÁQ. 23	0.83
MÁQ. 24	0.88
MÁQ. 31	0.87
MÁQ. 32	0.88
MÁQ. 33	0.88

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 Conclusiones

En la actualidad, la valuación de maquinaria es una actividad de gran importancia, esto debido a que componen uno de los más grandes activos de las empresas. Por esta razón es necesario que los valuadores profesionales utilicen los métodos adecuados y no solamente el uso de criterios subjetivos para estimar su valor.

Con la idea de aportar un granito de arena al campo de la valuación de la maquinaria y equipo, en especial la estimación del valor de las máquinas formadoras de envases de vidrio, el presente trabajo de investigación pretende ayudar al selecto grupo de valuadores profesionales especialistas en este campo, en la estimación del valor de estas máquinas considerando su eficiencia, el historial de sus mantenimientos y la velocidad de trabajo. Se consideraron estas variables ya que están directamente relacionadas con su desempeño, esto porque como se mencionó con anterioridad, respetar los programas de mantenimiento en las máquinas trae consigo múltiples beneficios entre los que destacan: confiabilidad de los equipos, por ende, asegurar la calidad de los productos, disminución de los tiempos muertos por paros imprevistos, áreas de trabajo más seguras para los trabajadores y un punto muy importante es que influye directamente en el estado de conservación de los equipos.

Para encontrar el factor de depreciación por estado de conservación de una máquina formadora de envases de vidrio considerando el historial de sus mantenimientos se utilizaron las siguientes variables que afectan su desempeño: la eficiencia como variable dependiente, el porcentaje de defectivo, tiempo muerto, porcentaje de mantenimiento y velocidad de trabajo como variables independientes. Al conjunto de datos de cada una de las máquinas se aplicó el método de regresión lineal múltiple y con los resultados obtenidos, seleccionamos las ecuaciones de las máquinas en las cuales el comportamiento de las variables asemeja la influencia real en sus resultados. Después de realizar el análisis de regresión lineal múltiple a los valores de las máquinas cuyas ecuaciones se ajustaron al comportamiento real de cada una de las variables, se

analizó nuevamente el conjunto de datos de las máquinas seleccionadas por medio del método de regresión lineal múltiple, obteniendo la ecuación general con la cual se calculó el factor de depreciación.

Al analizar las variables de la ecuación general se observa que cada una de ellas tiene un comportamiento acorde al desempeño de estas cuando la máquina se encuentra en operación. Con esto se quiere decir que al tener un incremento en el porcentaje de defectivo y tiempo muerto, la eficiencia de la máquina debe disminuir. Se tendrá un incremento cuando se respeten los programas de mantenimientos. La variable velocidad promedio de trabajo sugiere en cinco de las seis ecuaciones que al tener un ligero incremento beneficiará la eficiencia de esta.

Con la expresión obtenida es posible calcular el factor de depreciación de la máquina formadora de envases de vidrio. Para encontrar el factor de depreciación es necesario que el valuador profesional solicite la información del último mes de trabajo de la máquina, esta información debe considerar los valores de las variables: porcentaje de defectivo (X_1), tiempo muerto (X_2), porcentaje de mantenimiento (X_3) y velocidad promedio de trabajo (X_4) y sustituir cada uno de estos en la ecuación general. El resultado será el porcentaje de depreciación. Este factor deberá sustituirse en la fórmula para el cálculo del Valor Neto de Reposición.

Por lo cual concluimos que la hipótesis planteada para al inicio de la investigación es correcta, ya que el mantenimiento, el porcentaje de defectivo y tiempo muerto por fallas contribuyen directamente en la estimación del factor de depreciación por estado de conservación de la máquina formadora de envases de vidrio.

V.2 Recomendaciones

El factor de depreciación por estado de conservación considerando los mantenimientos propuesto en el presente trabajo de investigación es recomendado para obtener el Valor Neto de Reposición de las máquinas formadoras de envases de vidrio, aunque pudiera ser aplicado en algún otro tipo de máquinas, siempre y cuando se utilicen como variables independientes el porcentaje de defectivo, tiempo muerto, porcentaje de mantenimiento y velocidad promedio de trabajo.

La ecuación general para el cálculo del factor de depreciación puede ser utilizada siempre y cuando por lo menos exista información de una de las variables. Aunque se recomienda que se utilice la información de las cuatro variables para que el factor resultante sea más acertado. De no existir información de las cuatro variables el resultado de la operación aritmética para el factor de depreciación será de 95.2%, lo cual no es lo más recomendable, ya que el valuator profesional por comodidad utilizaría la formula sin la información histórica de la máquina y obtendría un factor de depreciación omitiendo la esencia del presente trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Acuña, A. J. (2003). Ingeniería de la Confiabilidad. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Antuñano, A. (2007). El Avalúo de los Bienes Raíces. Editorial Limusa.

American Society Appraisers. (2011). Valuing Machinery and Equipment: The Fundamentals of Appraising Machinery and Technical Assets (Second Edition). Published by American Society Appraisers.

Budhbhatti, K. P. (1999). Valuation of Plant and Machinery (Theory and Practice). Mumbai: Budhbhatti & Associates.

Castro, P. L. F. (2009). El Mantenimiento Industrial: La Columna Vertebral de las Empresas. Revista Metal Actual. Edición No. 13. Páginas 28 a 32.

Cuatrecasas, A. L. (2012). Gestión del Mantenimiento de los Equipos Productivos, Organización de la Producción y Dirección de Operaciones. Díaz de Santos Ediciones.

Deming, W. E. (2000). Calidad, Productividad y Competitividad: La Salida de la Crisis. Díaz Santos Ediciones.

Departamento de Impuestos de Oregón (2008). Methods for Valuing Personal Property. Published by Oregon Department Revenue.

Derry, Chris (2008). Valuation of Plant and Machinery. UK: RICS.

Díaz, J. E. (2013). El Mantenimiento Industrial Genera Dinero y Riqueza. Serbusa, La Actualidad del Mantenimiento Industrial.

Dounce, V. E. & Herrera D. M. A. (2009). La Productividad en el Mantenimiento Industrial. Grupo Editorial Patria.

Espolita, C. L. (1996). El Mantenimiento Industrial como elemento de la Logística Productiva. Revista DYNA Ingeniería e Industria. Volumen 71 – 5. Páginas 45 – 48.

Fernández G. R. (2010). La Mejora de la Productividad en la Pequeña y Mediana Empresa. Editorial Club Universitario.

García, G. S. (2011). La Contratación del Mantenimiento Industrial: Procesos de Externalización, Contratos y Empresas de Mantenimiento. Díaz de Santos Ediciones.

García, G. S. (2010). Organización y Gestión Integral del Mantenimiento. Díaz de Santos ediciones.

García, R. J. A., Ramos G. C. & Ruíz G. G. (2009). Estadística Empresarial. Editorial Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.

Gómez, L. F. (1998). Tecnología del Mantenimiento Industrial. Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia.

Instituto Mexicano de Contadores Públicos (IMCP) (2004). Boletín C-15 Deterioro del Valor de los Activos de Larga Duración y su Disposición.

International Valuation Standards Council (IVSC) (2010). Exposure Draft, Proposed New International Valuation Standards – IVS 302.1 (Valuation of Plant and Equipment). London: IVSC.

J. Hay E. (2003). Justo a Tiempo. La Técnica Japonesa que genera mayor Ventaja Competitiva. Grupo Editorial Norma.

López, L. J. I. (2005). Diccionario Contable, Administrativo y Fiscal. Grupo GEO Impresiones.

Korner, Evzen (2010). Plant and Equipment. In: Catty, J. P. (Ed.). Wiley Guide to Fair Value Under IFRS. 435 – 449. London: Wiley.

Maninggo, M. (2010). Plant and Machinery Valuation Methodologies. In CPD Seminar on Plant and Machinery Valuation organized by Institute of Surveyors, Malaysia in Kuala Lumpur, April 2010.

Moncada, J. J. (2005). Estadística para Ciencias del Movimiento Humano. Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G. (2011). Introducción al Análisis de Regresión Lineal. Grupo Editorial Patria. Tercera Edición.

Patton, J. D. (2004). Preventive Maintenance. Edit ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society.

Peralta, R. J. R. (2012). El vidrio en la Ciudad de México. Editorial EAE.

Pérez, G. A., Rodríguez C. P. J., Sancho B. J. L. & Sánchez M. F. T. (2007). Mantenimiento Mecánico de Máquinas. Publicaciones de la Universidad Jaume.

Rey, S. F. (2001). Manual del Mantenimiento Integral en la Empresa. FC Editorial.

Rey, S. F. (2001a). Mantenimiento Total de la Producción TPM, Proceso de Implantación y Desarrollo. FC Editorial.

Rojo, R. A. (2007). Valoración de Empresas y Gestión Basada en el Valor. Editorial Top Printer Plus S. L. L.

Sutoyo, B. S. (2008). Los Factores Clave del Mantenimiento. Revista VIRTUALPRO, Procesos Industriales. Edición No. 73. Página 4.

Sanchez, M. F., Pérez G. A. Sancho B. J. & Rodriguez C. P. (2007) Mantenimiento Mecánico de Máquinas. Edita Publicaciones de la Universitat Jaume I.

Triola, M. F. (2013). Estadística. Novena Edición. Editorial Pearson

USPAP (2013). Uniform Standards of Professional Appraisal Practice. Edit The Appraisal Foundation.