

ANÁLISIS DE ESCENARIOS PARA EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DE UN TALADRO UTILIZANDO VENSIM PLE

ANALYSIS OF SCENARIOS FOR THE INDUSTRIAL MAINTENANCE OF A DRILL USING VENSIM PLE

Jesús Vicente González Sosa

Universidad Autónoma Metropolitana
jvgs@azc.uam.mx

Lisaura Walkiria Rodríguez Alvarado

Universidad Autónoma Metropolitana
lwra@correo.azc.uam.mx

Jesús Loyo Quijada

Universidad Autónoma Metropolitana
lqj@correo.azc.uam.mx

Mariana Hernández González

Universidad Autónoma Metropolitana
mhg@correo.azc.uam.mx

Miguel Ángel López Ontiveros

Universidad Autónoma Metropolitana
mlopez@correo.azc.uam.mx

Resumen

Un aspecto importante dentro del mantenimiento industrial radica en que no se elaboran simulaciones, y se debe considerar que el mantenimiento es un modelo dinámico en donde está latente el parámetro del tiempo.

El mantenimiento industrial tiene diversas vertientes, las cuales podemos identificar como mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, en donde se involucran los elementos que logran satisfacer características esenciales del mantenimiento mostrando escenarios en un entorno gráficos de Vensim Ple.

Los escenarios de análisis permiten evaluar los elementos necesarios para abordar al mantenimiento en sus diferentes fases en función al desempeño del proceso involucrado.

Los resultados obtenidos mediante esta herramienta son una base de datos con cada uno de los casos de éxito y aquellos que han generado una dificultad en

análisis y resolución, la base de datos sirve como fuente de información en variables que se definen dentro del modelo para su posterior simulación y análisis de escenarios.

Palabras Clave: Análisis, dinámica, herramienta, mantenimiento, Vensim Ple.

Abstract

An important aspect of industrial maintenance is that there are no simulations made, and it should be considered that maintenance is a dynamic model where the time parameter is latent.

Industrial maintenance has different aspects, which we can identify as predictive, preventive and corrective maintenance, where the elements that manage to satisfy essential maintenance characteristics are involved, showing Scenarios in a graphical environment of Vensim Ple. The analysis scenarios allow to evaluate the elements necessary to approach the maintenance in its different phases according to the performance of the process involved. The results obtained through this tool are a database with each one of the success cases and those that have generated a difficulty in analysis and resolution, the database serves as a source of information in variables that are defined within the model for its subsequent simulation and analysis of scenarios..

Keywords: Analysis, dynamics, tool, maintenance, Vensim Ple.

1. Introducción

El mantenimiento consiste en una serie de actividades con cuya ejecución se logra alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones, preserva sus funciones y afecta todos los aspectos de una organización: disponibilidad y costos, seguridad, integridad ambiental, eficiencia energética y calidad de productos. Entonces, el objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos se puede definir cómo conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo costo y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene [Penkova, 2007].

La escasez de modelos de simulación de sistemas y procesos de innovación no es sorprendente. Como fenómeno social, la innovación es extremadamente compleja. En general, la complejidad de los fenómenos sociales, a diferencia de los fenómenos físicos, hace que los modelos de simulación contruidos para pronosticar su comportamiento sean muy poco confiables. Sin embargo, como método de investigación científica, la simulación de fenómenos sociales y demás ha demostrado ser bastante exitosa, al revelar importantes relaciones y principios a partir de modelos relativamente simples [Axelrod, 1997].

El uso de nuevas herramientas en el desarrollo del mantenimiento ha logrado identificar nuevas estrategias para su aplicación en donde se ha encontrado una línea de oportunidad para el aprovechamiento de software enfocado a la simulación de procesos dinámicos, por lo que se tiene, el mantenimiento industrial en cualquiera de sus etapas involucra el tiempo, ya sea para analizar, fundamentar y poner en marcha un plan, el cual tiene la característica de ser factor predominante en el análisis de sistemas dinámicos.

Por otro lado, se tiene el uso de Vensim Ple, ofrece resultados gráficos que permiten una comprensión de las temáticas y casos de estudio en donde es relevante su aplicación como una herramienta en el mantenimiento.

Es importante mencionar que el programa trabaja con modelos cuyo impacto está dirigido al sector educativo-industrial, igualmente establece límites para la aplicación de gráficos, contemplando que tiene una interfaz amigable y un uso intuitivo al igual que su manejo.

La aplicación de las simulaciones permite a los estudiantes visualizar los efectos reales de un proceso que a su vez se pueda extrapolar al sector industrial por la afinidad que se tiene el desarrollo de los algoritmos que al final son gráficos, tablas e indicadores de que un proceso, el proceso de mantenimiento se puede analizar por medio de este tipo de herramienta computacional.

Con los modelos se pretende visualizar las relaciones existentes entre los mantenimientos y las funciones asociadas que permiten el desarrollo del trabajo enfocado a determinar los efectos múltiples que se analizan con la herramienta mencionada.

Además, en cuanto a la evaluación del mantenimiento por medio de Vensim Ple es una innovación, dado que investigadores y profesionales no han aplicado el análisis dinámico con esta herramienta, ya que existen softwares en donde se lleva a cabo la administración, gestión y control del mantenimiento más no un análisis detallado con respecto al tiempo a través de herramientas dinámicas.

Se tiene la existencia de otros softwares para el análisis dinámico como lo es Stella, SigmaPlot, Simulink, OpenModelica, Simantics System Dynamics, Minky, entre otros, pero como se ha mencionado solo se utilizan para sistemas dinámicos ideales y en este caso se lleva a cabo en un caso real para analizar el mantenimiento de un taladro industrial y con ello validar el uso de la herramienta y el vínculo en otras áreas diversas en donde se controla el tiempo para la aplicación tangible.

Hoy en día se dispone de entornos de simulación muy flexibles que permiten construir un modelo de forma amigable, que no requieren conocimientos informáticos de alto nivel para su utilización, se adaptan bastante bien a las necesidades de los usuarios y simulan los modelos en tiempo real mostrando su comportamiento.

En el mercado existen tres suites de Dinámica de Sistemas que compiten al mismo nivel que corren solamente en entornos Windows y Macintosh, no hay versiones para posix (UNIX, Linux): la familia de software Vensim® de Ventana Systems Inc., Powersim Studio™ de los noruegos Powersim Software y los paquetes iThink® y STELLA® de Isee Systems (antes High Performance Systems).

Para construir el Diagrama Causal, los diagramas de Forrester, el modelo matemático y para su posterior simulación se ha utilizado el entorno de simulación dinámica Vensim PLE® (<http://www.vensim.com/>) de Ventana Systems Inc. Es un software gratuito para usos educativos y personales, no caduca, y tiene una importante prestación que otras marcas de software no ofrecen en sus versiones gratuitas: puede guardar el modelo que haya creado. Se recomienda consultar el análisis comparativo realizado por [Andrade, 2010] sobre el software disponible para simulación dinámica.

En general el análisis el mantenimiento de un equipo, sistema o proceso se lleva a cabo por medio de formatos en donde se contempla la cuestión preventiva,

predictiva y correctiva del mantenimiento, que es la forma coloquial para este tipo de casos, sin embargo en este trabajo se plantea un análisis desde el punto de vista dinámico, el cual controlara de una forma determinada el tiempo enfocándolo a escenarios que tienen variables tanto dependientes como independientes para su aplicación con la herramienta de Vensim Ple.

2. Métodos

Este trabajo tiene un enfoque teórico-práctico, por lo que se analizan aspectos teóricos del mantenimiento aplicados a casos reales en donde se englobará el uso de una herramienta para comprender desde el punto de vista dinámico las temáticas en cuestión para la formulación de los diversos procesos existentes en la industria. A continuación, se tiene el análisis por medio de la herramienta para la descripción del mantenimiento y en párrafos posteriores se vinculará de forma directa con ejemplos tangibles que permiten comprender la importancia del software en las temáticas mencionadas.

En primera instancia se realiza una estructura de los tipos de mantenimiento por medio del software de Vensim Ple, en donde se visualiza la relación entre ellos, enfocados a la mejora continua de cada una de las clasificaciones en cuestión.

En la figura 1 se aprecia de manera gráfica cada uno de los mantenimientos y la relación entre ellos, con lo que se logra identificar los parámetros críticos del mantenimiento con respecto a sus características comunes durante su implementación.

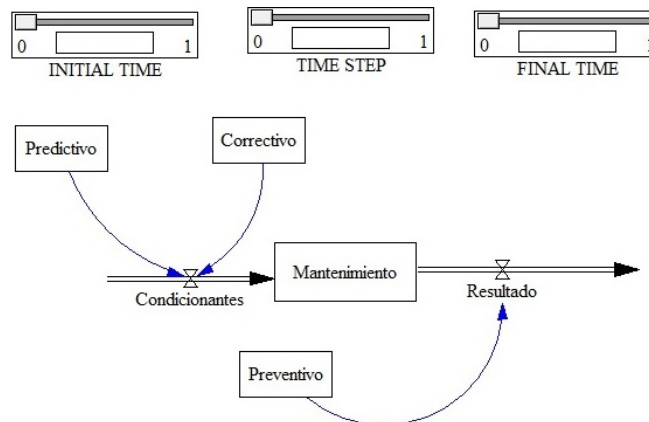


Figura 1 Proceso de mantenimiento desde VENSIM.

Por otro lado, se analizan las etapas y escenarios de cada mantenimiento por medio de la herramienta en donde se tienen los aspectos medibles y que muestran como parte del resultado los gráficos con la dependencia correspondiente y las ecuaciones vinculadas con el proceso.

Como se observa en cada uno de los diagramas de la figura 2, el mantenimiento independiente del tipo va a generar estándares para la formulación de este mismo y ello se logra realizando diversas actividades con las herramientas internas del software de Vensim Ple, en donde se logra identificar la tendencia del mantenimiento en dependencia con sus variables involucradas en cada tipo, buscando homogenizar algunas de las tareas de cada uno de ellos.

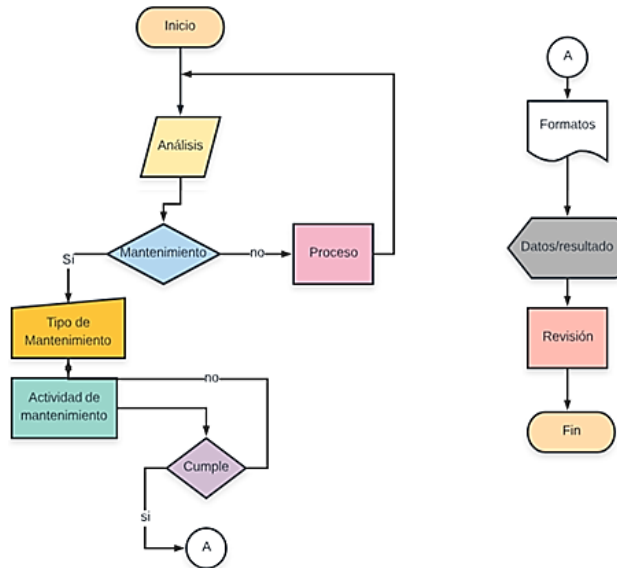


Figura 2 Diagrama de flujo del mantenimiento.

En lo que respecta al aprovechamiento del software dentro del desarrollo de este trabajo es necesario mencionar los criterios requeridos para lograr involucrar la herramienta en el proceso de mantenimiento y a la inversa.

Por lo cual, en la tabla 1 se muestran los criterios básicos del software para el uso en los procesos dinámicos que se vinculan con el mantenimiento industrial, con lo cual se establecen los conceptos que se pueden controlar dentro de la aplicación de la herramienta de Vensim Ple, cuyo propósito radica en identificar los aspectos tangibles en un caso de ingeniería industrial.

Tabla 1 Criterios comunes en mantenimiento en el uso de Vensim Ple.

Criterio	Descripción
Frecuencia	Repetibilidad en los ciclos de mantenimiento para un mejor uso y funcionamiento del equipo.
Flujo	Cantidad de mantenimientos que se deben realizar en un periodo establecido para el equipo y su uso.
Afectación	Elementos que afectan las condiciones ideales del equipo para su buen funcionamiento, con respecto a los aspectos del mantenimiento para el caso de estudio.
Desempeño	Está en función a la producción real obtenida derivada de las afectaciones del mantenimiento y la producción que teóricamente se puede producir.
Inventario	La disponibilidad del equipo para realizar las tareas signados para lograr la producción.
Producción	Cantidad de piezas y/o productos que se pueden elaborar, de acuerdo con la capacidad de producción, establecido por un tiempo estándar.

Con los criterios establecidos en la tabla 1 se desarrolla la aplicación de Vensim Ple en el mantenimiento a través de casos tangibles, que permiten comprender de manera metodológica el uso de la herramienta como parte del desarrollo en la ingeniería a través de casos de estudio.

El caso para analizar por medio de Vensim Ple corresponde al mantenimiento de un taladro industrial, el caso práctico analizado se deriva de un estudio realizado por los estudiantes y que el software ayudó a emitir conclusiones que permiten realizar una evaluación concreta, que se describe en los siguientes párrafos.

Modelo desarrollado para el taladro industrial

En la figura 3 se presenta el modelo desarrollado en el software Vensim Ple. En él se establecen las afectaciones de los diferentes mantenimientos (semestral, bimestral, mensual, quincenal, semanal y diario) en el flujo de producción de un taladro industrial. El modelo permite analizar diferentes opciones de evaluación del mantenimiento programado al variar los tiempos que este implica. Las afectaciones se determinan una vez que se registran los tiempos y la frecuencia de cada tipo de mantenimiento y éstas se incorporan al flujo de producción real del taladro industrial. Una versión “ideal” se considera en paralelo, al analizar el flujo de producción teórico el cual no tiene ningún tipo de afectación de tiempos de paros.

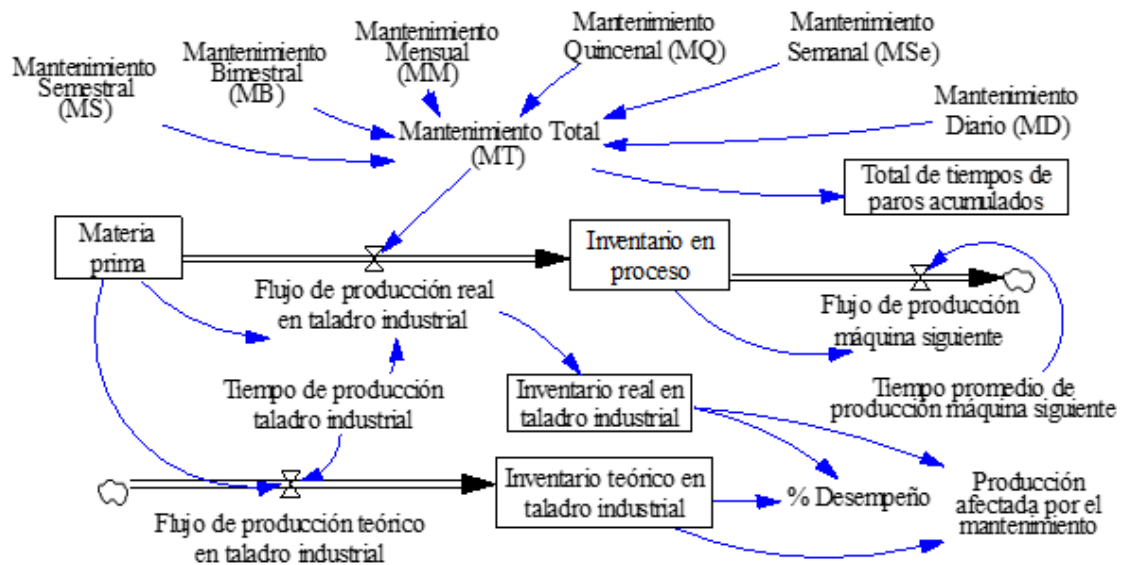


Figura 3 Modelo desarrollado.

El análisis de evaluación del mantenimiento registrado se realiza primeramente en función al % de desempeño, el cual se obtiene al comparar el inventario real e inventario teórico proveniente de la producción del taladro industrial al considerar las afectaciones del mantenimiento. Por otro lado, también se evalúa el total de tiempo de paros acumulados a lo largo del tiempo y por último se analiza la producción afectada por dichos paros, al determinar la diferencia entre el inventario teórico y real del taladro industrial. El modelo permite analizar aún más el efecto del tiempo de los paros al determinar el inventario en proceso acumulado entre el taladro industrial y la máquina del proceso siguiente.

Plataforma de simulación

En la figura 4 se presenta la plataforma de simulación desarrollada en el software Vensim Ple. La plataforma de simulación está conformada por tres secciones. En la sección "a" de la figura 4, se registra la información de frecuencia y tiempo de paro para cada mantenimiento considerado en la simulación, para este caso, se registran entre 8 y 12 datos. En la sección "b" de la figura 4 está contenido el modelo desarrollado, en el cual se presentan los flujos de producción, los niveles de inventario acumulado y las variables de interés para su análisis. En la sección "c" de la figura 4, se presentan gráficamente los resultados de dichas variables a lo

largo del tiempo, esto ayuda visualmente a analizar los principales escenarios de simulación. En la medida en que se realiza la simulación se pueden interpretar los datos de los diferentes escenarios.

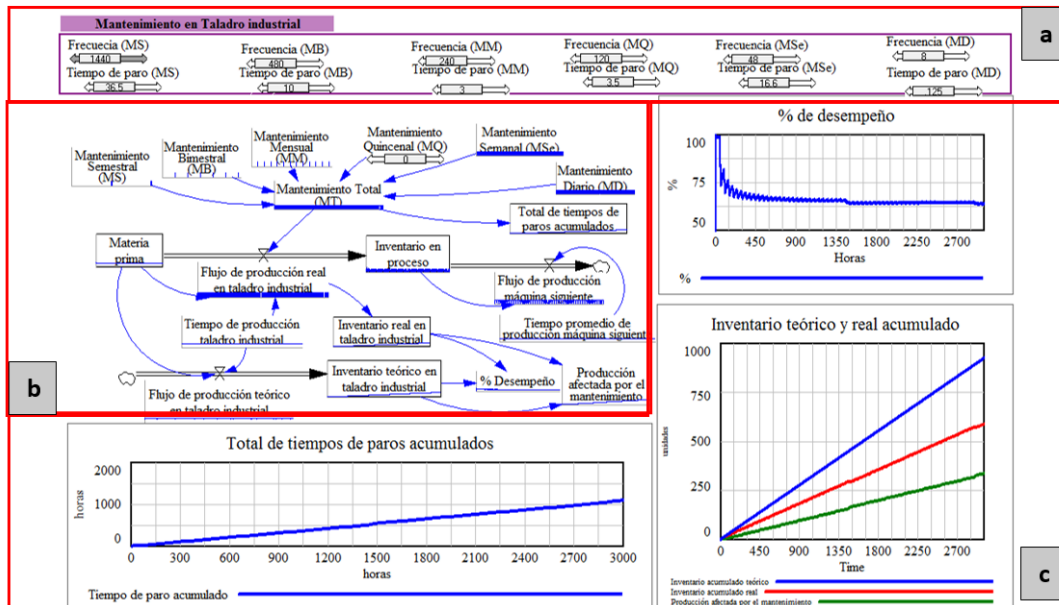


Figura 4 Simulación del modelo presente para el taladro industrial.

Representación matemática de los tiempos de paro de mantenimiento

La programación de los paros está representada por las variables: Mantenimiento Semestral (MS), Mantenimiento Bimestral (MB), Mantenimiento Mensual (MM), Mantenimiento Quincenal (MQ), Mantenimiento Semanal (MSe), Mantenimiento Diario (MD); al final todos estos tiempos se totalizan en la variable Mantenimiento Total (MT). Tal y como se mencionó antes, es necesario incorporar tanto la duración del tiempo de paro como su frecuencia de ocurrencia. Esto se logra por medio de la función Pulse Train, esta función hace que, al valor usual de la variable, se le agregue un determinado valor durante un periodo; luego la variable vuelve a su valor normal y es posible observar el efecto **PULSE** sobre otras variables. En el programa Vensim Ple, esta función es expresada por medio de cuatro argumentos: (*{start}*, *{duration}*, *{repeattime}* y *{end}*).

Los argumentos son parametrizables con los datos de: (*{Frecuencia}*, *{Tiempo de paro}*, *{Frecuencia}* y *{fin de simulación}*).

El parámetro de *Frecuencia* establece cada cuanto se presentará el paro, mientras que el parámetro *Tiempo de paro* establece su duración, el parámetro *fin de simulación* indica hasta que periodo de tiempo se pretende analizar el entorno de simulación. Al final, esta función se multiplica por el tiempo de producción del taladro industrial, para que el paro programado tenga la altura igual a este tiempo. Esto es necesario, ya que para lograr la afectación en el flujo de producción real se le debe restar el tiempo generado por los paros de mantenimiento. A continuación, se ejemplifica en figura 5 la función Pulse.

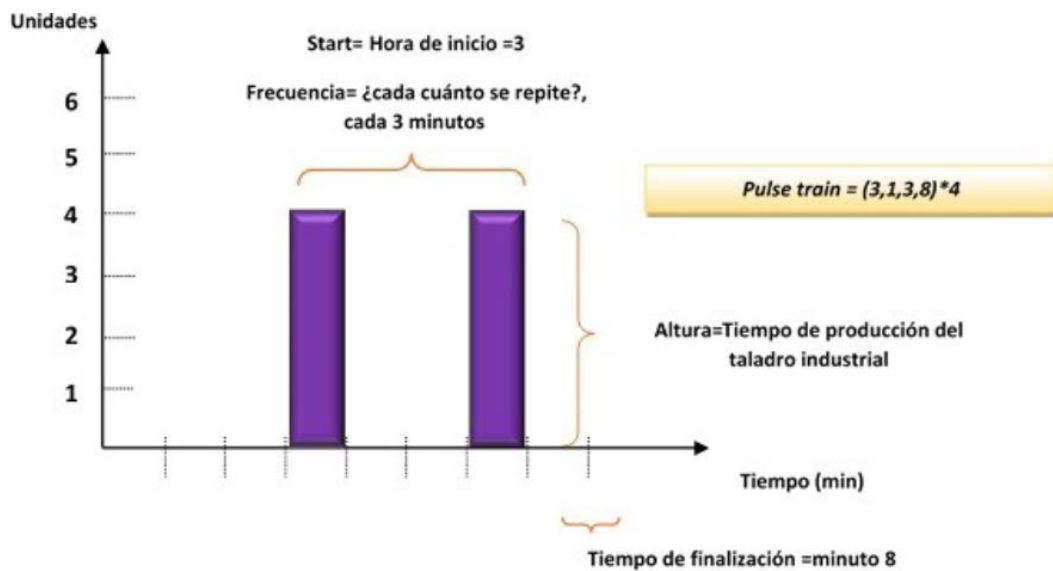


Figura 5 Ejemplo de la función Pulse.

De la figura 5, se observa que cada 3 minutos hay un pulso de 1 minuto y se repite hasta el minuto 8, por lo tanto, dado a su frecuencia únicamente se registran dos pulsos. Estos pulsos indican que hay una afectación en el lapso definido por el tiempo de producción. Bajo esta analogía la expresión matemática de los paros de mantenimiento se presenta en ecuaciones 1 a la 6.

$$= 0, 0, \text{Pulse train}(\text{Frecuencia}_{MS}, \text{Tiempo de paro}_{MS}, \text{Frecuencia}_{MS}, 3000)) \quad (1)$$

$$= 0, 0, \text{Pulse train}(\text{Frecuencia}_{MB}, \text{Tiempo de paro}_{MB}, \text{Frecuencia}_{MB}, 3000)) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \text{If then else (Tiempo de paro}_{MM} \\ & = 0, 0, \text{Pulse train}(\text{Frecuencia}_{MM}, \text{Tiempo de paro}_{MM}, \text{Frecuencia}_{MM}, 3000)) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{If then else (Tiempo de paro}_{MQ} \\ & = 0, 0, \text{Pulse train}(\text{Frecuencia}_{MQ}, \text{Tiempo de paro}_{MQ}, \text{Frecuencia}_{MQ}, 3000)) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \text{If then else (Tiempo de paro}_{MSe} \\ & = 0, 0, \text{Pulse train}(\text{Frecuencia}_{MSe}, \text{Tiempo de paro}_{MSe}, \text{Frecuencia}_{MSe}, 3000)) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{If then else (Tiempo de paro}_{MD} = \\ & 0, 0, \text{Pulse train}(\text{Frecuencia}_{MD}, \text{Tiempo de paro}_{MD}, \text{Frecuencia}_{MD}, 3000)) \end{aligned} \quad (6)$$

Se observa en las ecuaciones 1 a 6, que se ha considerado agregar la función *If then else*, esta función es una restricción la cual indica que, si no hay registrado ningún tiempo de paro, entonces no se registra ninguna función, de lo contrario, se activa inmediatamente la función *pulse train*.

Hasta el momento lo realizado identifica el potencial de una herramienta como lo es Vensim Ple para aplicaciones en la ingeniería industrial como lo es el mantenimiento y la apertura que se tiene para el desarrollo de las nuevas tendencias para el aprovechamiento de herramientas en temáticas dentro de la ingeniería. En la siguiente sección se muestran las gráficas obtenidas de la simulación del modelo para el taladro industrial en su mantenimiento correspondiente.

A continuación, se presentan los escenarios de simulación para las propuestas de mantenimiento en el taladro industrial, cuyo análisis se lleva a cabo por medio de la herramienta de Vensim Ple, considerando las variables de control establecidas para el caso.

3. Resultados

Como parte de los resultados se generan gráficos relacionados con cada uno de los escenarios presentes en el mantenimiento de un taladro industrial y éstos muestran cada etapa en donde se involucra el tiempo como factor de los sistemas

dinámicos y con lo que dio pauta para el desarrollo de este trabajo en el ámbito de simulación por medio de Vensim Ple para aplicaciones específicas de la ingeniería industrial, basándose en aspectos generales e ideales para el caso mostrado.

Para el escenario 1 y 3, mostrados en la figura 6, el total de tiempos de paros es muy similar, acumulando un total de 460 y 380 horas respectivamente. Hay una diferencia notoria si este resultado es comparado con el escenario 2, ya que las horas acumuladas de paro, prácticamente se duplican alcanzando un total de 1120 horas, esto se debe principalmente a que, en el segundo escenario se ha considerado una modalidad de mantenimiento diferente a los otros dos escenarios, para esta propuesta se determinó realizar paros bimestrales con una duración de 10 horas, es decir que cada dos meses, habrá una interrupción de la jornada productiva de 10 horas, acumulando un total de 60 horas en un año. Por otro lado, el mantenimiento semanal incrementó en un 71% para el escenario 1 y un 79 % para el escenario 3, al pasar de 4.8 y 3.5 horas a 16.6 horas respectivamente. Esta condición afecta grandemente la disponibilidad del equipo.

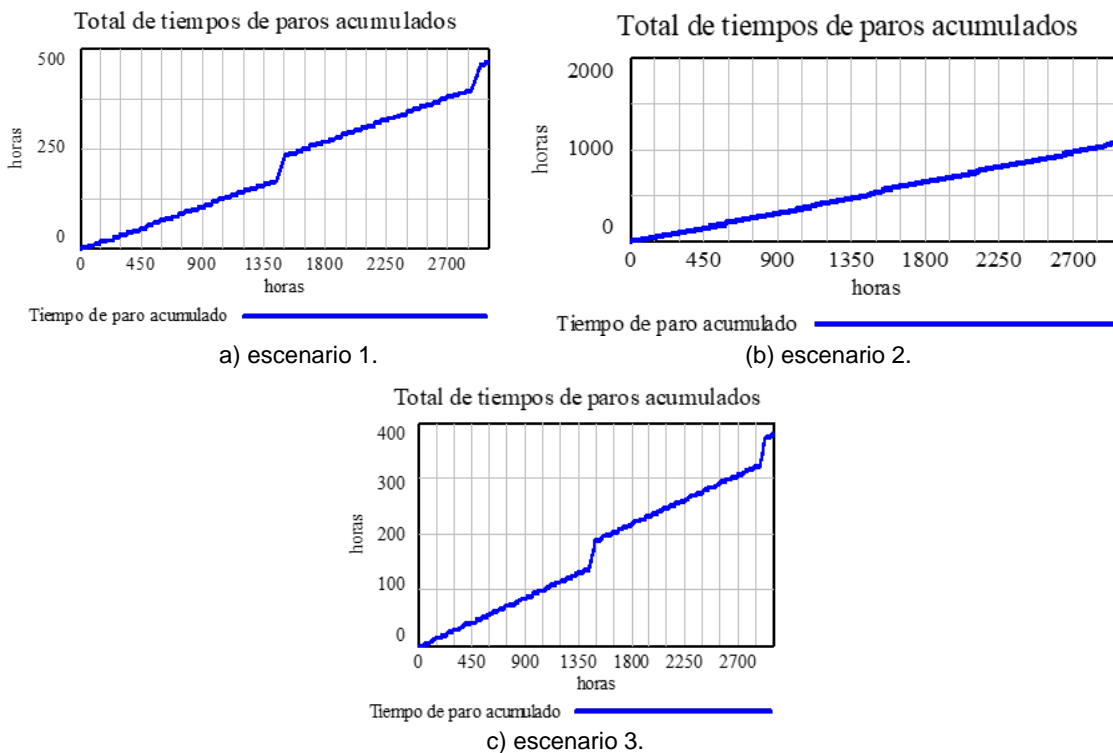


Figura 6 Total de tiempos de paros acumulados.

Una vez analizado el comportamiento de los tiempos de paros, en la figura 7, es de esperarse que el % de desempeño se comporte de manera muy similar. Para el escenario 1 y 3 los porcentajes de desempeño están por encima del 80%, lo cual se considera aceptable; sin embargo, el porcentaje de desempeño para el escenario del caso 2, su % baja hasta niveles de 72% y a pesar de que no es un valor muy bajo, éste representa un decremento del 15% aproximadamente en relación con los otros escenarios ya mencionados. Este porcentaje es un valor crítico para considerar cuando se evalúa los escenarios de mantenimiento, ya que nos indica el % de cumplimiento de la producción programada en función a los paros que se pueden presentar en el equipo, como en este caso, ocasionado por paros de mantenimiento.

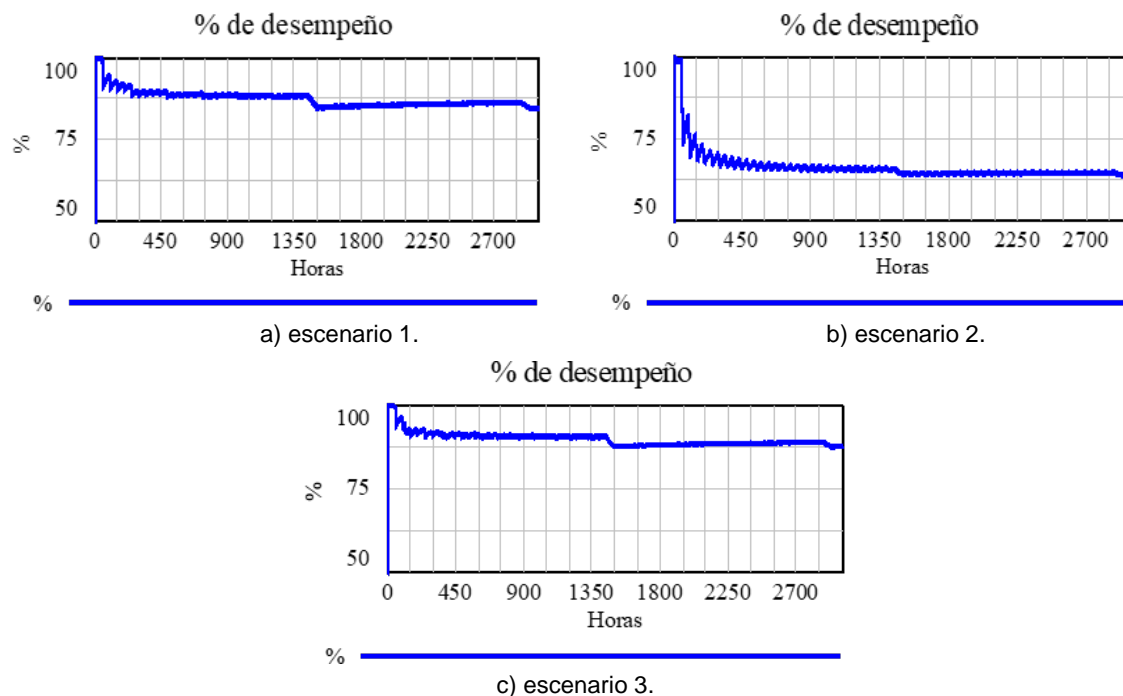


Figura 7 Desempeño (%).

Al incrementarse los tiempos de paros y al tener un porcentaje de desempeño bajo, es de esperarse que se vean afectadas las unidades a producir. En la figura 8 se presenta que el requerimiento teórico a cumplir es el mismo para los tres casos, es necesario producir 920 unidades en un ciclo de un año. Para el escenario 1, se observa que hay una afectación del 15% en la producción que teóricamente se

debería producir, generando que la cantidad de piezas afectadas sea de 140 unidades. Por otro lado, para el escenario 2, se genera una afectación del 36% en la producción teórica, es decir que se dejan de producir 333 unidades. Finalmente, el escenario 3 cuenta con el porcentaje menor, con un 12%, lo que representa un total de 110 unidades afectadas por los paros programados del mantenimiento.

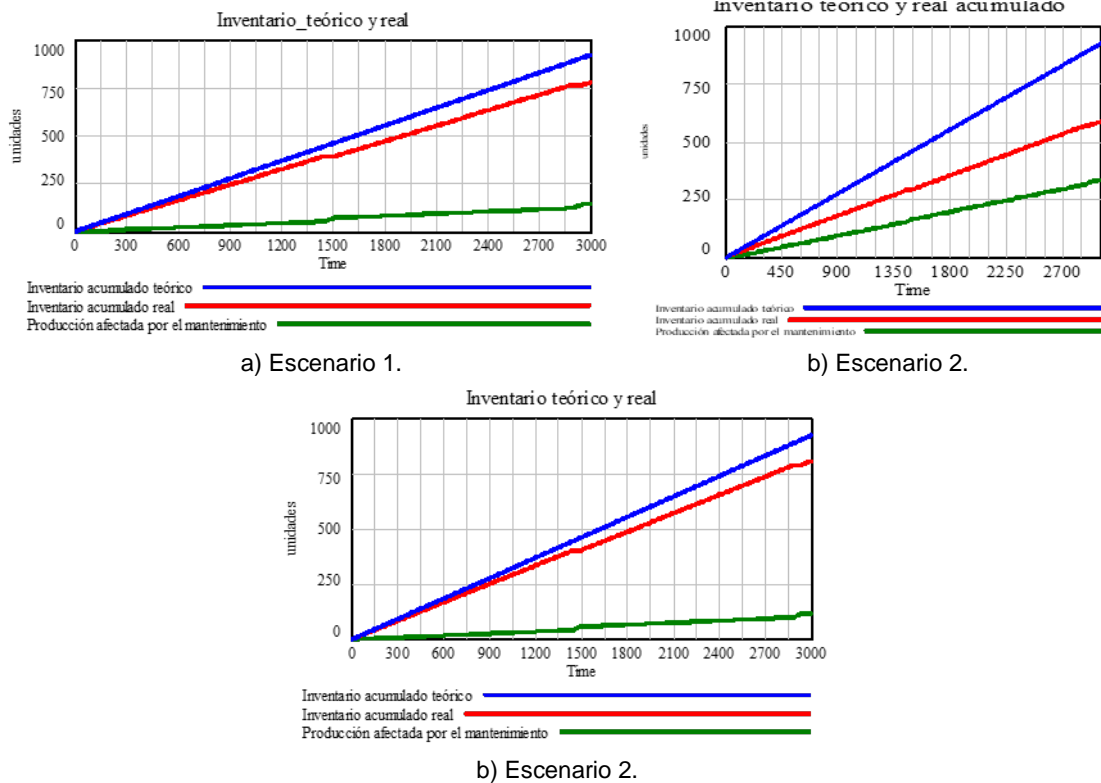


Figura 8 Inventario teórico y real del talado industrial e inventario pendiente.

De acuerdo con lo establecido en los párrafos anteriores se pueden establecer los escenarios, variables en el control y aplicación de Vensim Ple como una herramienta en el mantenimiento industrial, lo cual se describe en tabla 2.

Tabla 2 Escenarios y variables aplicables en el software Vensim Ple aplicado a un caso de mantenimiento industrial

Escenarios	Variables
Tiempos de paro acumulado	Horas semana/mes/bimestre
% de desempeño	Producción programada en función de paros
Inventarios	Unidades a producir

La tabla 2 tiene la ventaja de observar con mayor detenimiento las variables existentes en los casos de aplicación para el mantenimiento de un taladro industrial, con lo cual se logra determinar el impacto cuando estas variables son dependientes ya sea de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo, los cuales dependen de forma directa con el tiempo, el cual se utiliza para la evaluación dentro de los escenarios establecidos para la aplicación del software y el aprovechamiento de este mismo en los métodos de enseñanza-aprendizaje para las áreas de ingeniería enfocadas en el caso. Con estos escenarios y variables el estudiante podrá variar los parámetros y determinar la viabilidad de un mantenimiento en relación con la funcionalidad del elemento a evaluar y las tendencias que ofrece el análisis posterior a su aplicación. Y se tiene la ventaja de generar y obtener un gráfico con las vertientes que el estudiante logre identificar en los diferentes tipos de mantenimiento.

4. Discusión

En los resultados se logró identificar los escenarios que se interpretan como elementos fundamentales para el aprovechamiento de Vensim Ple como herramienta para analizar un caso en el área de mantenimiento industrial, en donde se localiza la importancia de esta herramienta como apoyo en el aprendizaje de los estudiantes en nivel superior en temáticas que involucran sistemas dinámicos, como se observa el mantenimiento como parte de un caso específico para analizarse por medio del software lo cual se logra debido a la aportación de información relacionada con el proceso y las condiciones controlables en función del tiempo, que facilitó el uso de la herramienta, ya que el sistema se comporta de forma dinámica.

De acuerdo con el desarrollo se logra enfatizar la importancia de verificar y validar variables de gran impacto dentro del caso de mantenimiento para establecer los criterios que se deben de considerar, desde el punto de teórico aplicable a lo práctico, para su aplicación y control dentro del software Vensim, ya que sin esa identificación no es posible extrapolarlo hacia los escenarios que se ubican en las aplicaciones de la herramienta.

Una tendencia con esta herramienta es la de analizar de manera consistente los diferentes tipos del mantenimiento de un caso en específico, como el tratado en este trabajo, para focalizar las vertientes tanto en mantenimiento preventivo como en el predictivo y correctivo. Con esto se da pauta a mejorar las condiciones en la preparación de clases para los estudiantes y que ellos observen el potencial que se tiene al utilizar la herramienta para la resolución y/o análisis de casos como parte fundamental de un sistema dinámico.

5. Conclusiones

Del trabajo realizado se establece que el sentido de hacer uso de herramientas, como lo es Vensim Ple, en aspectos de mantenimiento industrial favorece el aprovechamiento para la mejora en enseñanza aprendizaje de las temáticas de la ingeniería industrial, del caso desarrollado se obtuvieron datos de gran importancia que permiten al estudiante adentrarse a estas temáticas y visualizando que existen otras factores que logran enriquecer su desarrollo académico y profesional con elementos reales y permisibles de la ingeniería.

Parte de los propósitos de este trabajo son identificar las ventajas que ofrece una herramienta computacional para evaluar un análisis de temáticas diferentes a las establecidas por el software, identificando el potencial y las áreas de oportunidad para escuelas inmersas en el aprendizaje de la ingeniería e igualmente la oportunidad a los estudiantes de utilizar nuevas técnicas de aprendizaje, en un lenguaje que los caracteriza en estos tiempos. Por otro lado, la importancia de abordar sistemas dinámicos con Vensim desde parámetros cuantitativos, como lo son formatos de mantenimiento para este caso de estudio, además, se logra adentrarse a otros ambientes de mejora para facilitar el estudio de la temática.

Con lo obtenido se pretende continuar con esta línea para identificar tendencias comparativas con el mercado educativo y escalarlo a lo profesional, ya que se cuenta con esta herramienta, la cual tiene los elementos necesarios para abordar al mantenimiento en sus diferentes fases, predictivo, preventivo, correctivo, igualmente con los resultados de este análisis se identifican los parámetros a controlar en cada caso dentro del mantenimiento a aplicar.

Algunos aspectos para resaltar para futuros desarrollos son: ampliar el campo de análisis en todas y cada una de las etapas del mantenimiento, mejorar el estado de frecuencias y su control, establecer un proceso de producción involucrado con todos los equipos de mantenimiento, formular algoritmos que faciliten la aplicación de la herramienta en cuestión.

Es importante resalta que el resultado obtenido en la aplicación de la herramienta en temas que no se habían contemplado, los estudiantes generan interés por aplicar nuevas tecnologías en su desarrollo académico y posteriormente aplicarlo en lo profesional y contar cada día con nuevas herramientas de análisis y resolución de casos reales por medio de nuevas técnicas de aprendizaje, lo cual enriquece el trabajo dando pasos a nuevas alternativas de aplicación, en lo concerniente a la ingeniería industrial, y sus diversas temáticas enfocadas en la mejora continua de un equipo, sistema o proceso.

Para el caso en específico el modelo desarrollado es para una máquina en particular, por lo que el modelo es reproducible, al ajustar ciertos parámetros, para evaluar otros escenarios de otras máquinas, pero el contexto general sigue siendo el mismo: entradas, salidas, acumulaciones, flujos y parámetros.

Por último, no se debe olvidar que Vensim Ple solo es una herramienta más que se ha considerado para el estudio del mantenimiento industrial, más no un programa que resolverá los casos de mantenimiento, sirve para comprender el mantenimiento con sus frecuencias como un sistema físico que depende el tiempo, como uno de los parámetros del control de un sistema. La experiencia que ha dejado este análisis tiene la virtud de ser transmitido para llegar al sector educativo como al industrial para obtener mejoras en los procesos concernientes. Y generar líneas de desarrollo con el uso de la herramienta para enriquecer las temáticas que involucran sistemas dinámicos y que dependen de forma directa del tiempo.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Axelrod, R. Advancing the art of simulation in the social sciences. In: R. Conte, R. Hegselmann and P. Terna (Eds.), *Simulating social phenomena* (pp. 21-40). Berlin: Springer. 1997.

- [2] Brinksma, E., A. Mader and A. Fehnker (2002). Verification and optimization of a plc control schedule. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer* 4 (1), 21–53. 2002.
- [3] Campuzano Bolarín F, McDonnel Ros L, Lario Esteban, FC. Bullwhip Effect Consequences according to Different Supply Chain Management Strategies: Modelling and Simulation. *Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration*, Vol. 5, p.49-66. 2008.
- [4] John S, Naim MM, Towill DR. Dynamic analysis of a WIP compensated decision support system, *International Journal of Manufacturing Systems Design*, Vol. 1-4, p.283–297. 1994.
- [5] Penkova M, *Mantenimiento y análisis de vibraciones*, *Ciencia y Sociedad*, vol. XXXII, núm. 4, pp. 668-678. ISSN: 0378-7680. 2007.
- [6] Sterman, D. *Business Dynamics, Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill Higher Education (ISBN 0-07-231135-5). 2000.
- [7] Andrade H., Lince E., Hernández A., Monsalve A. Evolución, herramienta software para modelado y simulación con dinámica de sistemas. *Revista de Dinámica de Sistemas* Vol. 4 Núm. 1 (abril 2010).