

Propuesta de Algoritmo de Predicción del Stock de Piezas de Repuesto para Equipos Médicos

Zoila Esther Morales Tabares

Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Boyeros, Cuba, zemorales@uci.cu

Efrén Vázquez Silva

Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Boyeros, Cuba, vazquezsilva@uci.cu

Yailé Caballero Mota

Universidad de Camagüey, La Habana, Camagüey, Cuba, yailec@yahoo.com

ABSTRACT

One of the most common problems in the management of spare parts warehouses is the stock planning in order to satisfy the needs of repairing medical equipment. Although the experts in charge of planning the stocks often don't have the historical failures and predictions of earlier years of plannings in their hands that allows them to supply the exact ammount of pieces. That is why this this job is focused on the improvement of stock planning for medical equipment, improving the recopilation of information to use for the estimation process. It has been applied on the implementation of the algorithm of statistical techiques: Stratisfied Random Sampling, Corelation and Simple Linear Regretion, using the annual stock as the dependant variable and the annual failure frequency as the independant or explanatory variable.

Keywords: warehouse management, stock planning, estimation techniques, algorithm implementation.

RESUMEN

Uno de los problemas más comunes en la gestión de almacenes de piezas de repuesto es la planificación de stock para la satisfacción de las necesidades de reparación o mantenimientos de equipos médicos. Aunque por lo general los expertos encargados de la planificación de stock de piezas de repuesto para equipos médicos no cuentan con la información de los históricos de fallas y predicciones de stock de años precedentes que les permita suministrar en el momento adecuado la cantidad exacta de piezas. De acuerdo a los planteamientos anteriores, se decidió en este trabajo centrarse en la mejora de las planificaciones de stock de piezas de repuesto para equipos médicos a partir de la mejora en la recogida de información a emplear en las estimaciones. Se empleó en la implementación del algoritmo técnicas estadísticas: Muestreo Aleatorio Estratificado, Correlación y Regresión Lineal Simple, utilizándose como variable dependiente o explicada, el stock anual y como variable independiente o explicativa, la frecuencia de fallas anual.

Palabras claves: gestión de almacenes, planificación de stock, técnicas de estimación, implementación del algoritmo.

1. INTRODUCTION

La era de la tecnología ha hecho que el mundo del siglo XXI esté en constante evolución. En la actualidad el aporte de la tecnología es fundamental en todas las áreas, pero imprescindible en lo que respecta a la medicina. El empleo de técnicas avanzadas en el ambiente hospitalario contribuye a mejorar la calidad de atención de los pacientes y, al mismo tiempo, permite mantener niveles óptimos de seguridad y operatividad en los dispositivos de uso médico. La tecnología médica se utiliza ampliamente en la red asistencial de salud, para la prevención, diagnóstico, tratamiento de diversas enfermedades y estados físicos anormales; pero no está exenta de riesgos debido a las condiciones inadecuadas en las que operan algunos centros de salud del país, disminuyendo su funcionalidad, pues no se aplican ciertos procedimientos importantes para su mantenimiento y buen uso.

El Sistema Nacional de Salud de Cuba desarrolla un gran número de proyectos informáticos encaminados a la gestión biomédica. Ejemplo de ello, lo constituye el proyecto Sistema de Gestión para Ingeniería Clínica y Electromedicina: SIGICEM, perteneciente al Centro de Informática Médica: CESIM de la Universidad de Ciencias Informáticas. SIGICEM surge por la falta de gestión de los equipos médicos, personal técnico y piezas de repuestos para la tecnología médica instalada, pues tanto en las provincias como en el propio Centro Nacional de Electromedicina no se cuenta con la rapidez en la solución de problemas que en ocasiones se viabilizan ágilmente con un sistema automatizado.

Con el desarrollo de SIGICEM se podrá realizar la gestión logística de la tecnología médica, producto al crecimiento vertiginoso de la producción e instalación de equipos médicos en las instituciones de salud; contribuyendo al control real de la tecnología instalada. Para ello, debe involucrar a todo el personal técnico que interactúa con los equipos médicos, así como a sus fabricantes o representantes legales que constituyen uno de sus responsables.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Cuba actualmente, cada provincia recibe un presupuesto para adquirir el equipamiento necesario garantizando la operación continua, confiable, segura y económica de los centros de salud, ya sea por sustitución tecnológica obsoleta, ampliación de servicios médicos, modernización tecnológica o introducción de tecnología de punta. Una vez que llegan los equipos a cada unidad de salud son instalados generalmente por el personal del centro sin previo conocimiento del CICEM. Muchos de los locales en los que son situados no reúnen los requisitos exigidos por su fabricante, lo cual constituye un error considerable que afecta el futuro funcionamiento del equipo médico.

Al no tener el CICEM conocimiento de la instalación del equipo en la unidad de salud en el que se encuentra situado, no tiene planificada la compra de piezas de repuesto para dicho equipamiento. Posteriormente, cuando son reportados con fallas o roturas se presentan grandes inconvenientes para su reparación. En caso de que el equipo tenga una alta prioridad de ser reparado debe invertirse un presupuesto no planificado para su reparación, representando un gasto inesperado para el país; por lo que no existe una vía eficaz para controlar la gestión tecnológica de los equipos médicos en el sistema de salud cubano, que permita la optimización de stock de piezas de repuesto en las Organizaciones Básicas de Ingeniería Clínica y Electromedicina (OBICEM).

La situación anteriormente descrita atenta contra la optimización de los niveles de stock en estos tiempos de crisis mundial y refleja la necesidad de estudiar una posible solución a la misma, por lo que se propone como objetivo general de la investigación: Desarrollar un algoritmo predictivo para la optimización de los niveles del stock de piezas de repuesto para equipos médicos.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE STOCK DE PIEZAS DE REPUESTO PARA EQUIPOS MÉDICOS EN EL SISTEMA NACIONAL DE ELECTROMEDICINA

El Centro de Ingeniería Clínica y Electromedicina (CICEM), centro rector normativo metodológico del Sistema Nacional de Salud de Cuba tiene frente a cada especialidad un especialista, que por su experiencia, conocimiento y una serie de requisitos previos le permiten desempeñarse como experto principal de esa rama. Esta organización permite que cada especialista prepare a nivel nacional su plan para la especialidad que atiende, unificando la información enviada desde los OBICEM e interviniendo en la autorización de los despachos de piezas de repuesto, que en un momento determinado hacen falta trasladar a una provincia para resolver un problema; ya sea por mantenimiento o por recambio de piezas. Éste debe conocer las tecnologías que son instaladas dentro de su especialidad, ayudado por otro grupo de expertos que él selecciona por su capacidad y experiencia; contribuyendo a que el colectivo técnico llegue a la mejor decisión de la tecnología más conveniente a instalar en las instituciones de salud del país. Posibilitando una buena planificación de las piezas de repuesto que necesita cada equipo, garantizando los mantenimientos que hay que proveer para los mismos, para que durante su vida útil ocurran la menor cantidad de roturas y que su explotación sea de manera óptima.

2.2 ANTECEDENTES Y ALGORITMOS PREDICTIVOS EXISTENTES DE GESTIÓN DE STOCK A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

Diversas alternativas ofrecen algunos algoritmos y software disponibles en el mercado internacional para la planificación de inventarios, pues constituyen soluciones orientadas a aplicaciones específicas que ofrecen servicios más integrales. Seguidamente, se presentan algunos de los sistemas y algoritmos existentes para la realización de este proceso.

- Software Report Tech 1.4, empleado para el control de inventarios a nivel nacional del equipamiento médico, desarrollado sobre la plataforma .NET. El mismo es utilizado para establecer patrones comparativos en cualquier fecha del año y diagnosticar el estado del inventario por provincias. Este utiliza como elemento base las órdenes de servicio o los reportes, las entradas al almacén central (Recepción por Terceros) tanto para acciones de distribución planificadas, como imprevistas. (Osmaiyan 2007)
- Software Infor, utilizado para la gestión de inventarios en red, permitiendo la asignación de los stocks a la mejor posición, con el objetivo de obtener la máxima rentabilidad de los activos. Proporciona un innovador sistema de gestión de stock para la cadena de suministro, pues aporta una visión completa de la oferta y la demanda, permitiendo a las empresas aumentar su rendimiento y reducir sus costes. De esta manera puede centrarse en lo que más importa: su negocio, constituyendo un componente esencial para mantener un buen equilibrio entre los niveles de servicio y el inventario. (Inform ION 2010)
- El software para Planificación y Aprovisionamiento de Piezas de Mantenimiento (SAP) permite hacer frentes al exceso de stock, niveles de rendimiento deficientes, menor satisfacción de los clientes y pérdida de oportunidades para las ventas cruzadas y ascendentes de servicios postventa y piezas de recambio. Proporciona además, las funciones más avanzadas para la previsión de la demanda de piezas, así como modelos de planificación de inventario y distribución, lo que posibilita mejoras drásticas de los niveles de servicio y, a la vez, permite reducir los costes de inventario. (SAP 2010)
- SysMan V7.0, facilita la gestión integral del mantenimiento de todo tipo de activos, además permite el control de inventarios para ítems asociados o no a mantenimiento (repuestos, materiales, materia prima, entre otros). Puede crear y manejar múltiples almacenes, efectuar transferencias entre ellos. Ofrece la posibilidad de presentar sugerencias de compras según la demanda. (INSOLCA 2010)
- Algoritmo de Wagner-whitin (WW): Algoritmo de enfoques heurísticos, que permite minimizar el costo de la variable de inventario, el costo de ordenar (preparar) y el de mantener inventario durante el horizonte de planeación. La diferencia es que el algoritmo Wagner-Whitin genera una solución de costo mínimo que conduce a una cantidad óptima a ordenar Q_i . El procedimiento de optimización está basado en la programación dinámica, evalúa todas las maneras posibles de ordenar para cubrir la demanda en cada período del horizonte de planeación. (Martínez 2010)
- Optimización de dos niveles en la cadena de suministro utilizando algoritmos genéticos multi-objetivos: Propuesta de un algoritmo genético multi-objetivo (Moga), permite una formulación mixta para una red de suministros de dos niveles, teniendo en cuenta las variables del mundo real y las limitaciones. Esta solución se propone porque el rendimiento general de una cadena de suministro está influenciada significativamente por las decisiones adoptadas en su producción-distribución (PD), teniendo en cuenta que un plan de PD se integra en las decisiones de producción, transporte y almacenamiento, así como la gestión de inventarios. (Ma et al 2010)
- Determinación de soluciones robustas en la cadena de suministro utilizando algoritmos genéticos: En esta investigación se desarrolló un modelo de programación estocástica para seleccionar ubicaciones de almacenamiento y los niveles requeridos de inventario para cada tipo de suministros médicos; permitiendo equilibrar el grado de preparación y el riesgo a pesar de las incertidumbres de los desastres. (Niju and Radhamani 2010)

2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Luego de realizar un estudio de los sistemas y algoritmos a nivel nacional e internacional se observa, que los mismos poseen funcionalidades que se requieren para la implementación de la solución propuesta en esta

investigación; pero no satisfacen todas las necesidades que se tienen y específicamente para la tecnología médica a nivel mundial existen pocos sistemas que permiten planificar el stock de piezas de repuesto, debido a la gran variedad del equipamiento médico con complejas características. Los sistemas estudiados pudieran adaptarse y emplearse en el Sistema Nacional de Electromedicina, pero resultará muy costosa su adquisición en el mercado mundial, ya que los mismos son propietarios, por tanto habrá que pagar para su puesta en marcha elevados costos por sus licencias; además estas tecnologías son dependientes de plataformas predeterminadas y presentan características propias de la institución para la cual fueron diseñadas.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS ESTADÍSTICAS APLICABLES AL PROBLEMA DE PREDICCIÓN

El empleo del muestreo aleatorio estratificado y las técnicas de correlación y regresión lineal simple ofrecerán la posibilidad de realizar pronósticos de futuras observaciones, permitirá además la realización de estimaciones con características numéricas y el modelamiento de relaciones entre variables.

Se requiere en la investigación el empleo de esta técnica porque la manipulación de los reportes de roturas de equipos médicos se torna compleja sino se estratifica por especialidad y denominación de equipo. Al estratificar de esta forma los reportes de fallas, quedarán agrupados los equipos que presentan características similares; es decir, la población queda representada como se explica a continuación: La población de N unidades se divide primero en subpoblaciones de N_1, N_2, \dots, N_L unidades respectivamente. Estas subpoblaciones, no se traslapan y en su conjunto comprenden a toda la población, por tanto, $N_1 + N_2 + \dots + N_L = N$. (Cochran 2011) Por lo que la aplicación de esta técnica da lugar a una mejor precisión de las estimaciones de stock de piezas de repuestos de los equipos médicos, pues estas subpoblaciones se consideran homogéneas internamente.

Antes de ser estratificada la población se realiza una recogida de información muestral representativa; es decir, se escoge el 20 % de la población de forma aleatoria. Posteriormente, se estratifica la población de acuerdo a la especialidad a la que pertenece el equipo médico que ha sido reportado con fallas en una orden de servicio y por su denominación. Después, se procede a aplicar en cada uno de los estratos el muestreo aleatorio simple. Para determinar la frecuencia de fallas de cada una de las piezas que han sido reportadas en las órdenes de servicio se emplea la ecuación de la media aritmética: $\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i/n$. Donde: \bar{X} representa la frecuencia de fallas de la pieza; X_i representa la cantidad de roturas que ha tenido la pieza en cada año y n constituye la cantidad de años de históricos (fallas).

Luego de conocer cómo determinar la frecuencia de fallas de una pieza reportada en una orden de servicio, se realizó un trabajo de mesa con los especialistas encargados de planificar anualmente de forma manual los stocks de piezas de repuesto para los equipos médicos que se encuentran distribuidos por todas las unidades de salud del territorio nacional, por lo que se observa que era necesario establecer alguna relación entre la variable conocida (frecuencia de fallas) y otra variable que permitiera estimar el stock de piezas necesario para darle solución a las roturas reportadas. Llegando a la conclusión que era preciso relacionar la frecuencia de fallas en un año con el stock de pieza planificado para el mismo año. Por lo que se hizo necesaria la realización de un análisis de correlación y regresión, el cual permitió investigar las relaciones entre las variables descritas anteriormente.

3.1 CORRELACIÓN Y REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Anteriormente, fueron descritas las 2 variables a utilizar en la predicción del stock de piezas de repuesto para equipos médicos: frecuencia de fallas y stock anuales. Se considera como variable dependiente el stock anual porque representa el valor a predecir o estimar en esta investigación y para realizar este análisis; es decir, esta estimación se requiere de la variable independiente frecuencia de fallas anual. Por lo que uno de los objetivos fundamentales para aplicar esta técnica (correlación y regresión lineal simple) es determinar si ambas variables están asociadas y en qué sentido se da dicha asociación (si los valores de una de las variables tienden a aumentar o disminuir al aumentar los valores de la otra); además analizar si los valores de una variable pueden ser utilizados para predecir el valor de la otra.

Primeramente, para determinar si las variables (frecuencia de fallas anual y stock anual) están asociadas debe calcularse el coeficiente de correlación lineal (ρ)

Una vez que se demuestra que existe una relación lineal entre las variables (frecuencia de fallas anual y stock anual) se analiza que tipo de relación constituye, empleando la Ecuación de Regresión de Y sobre X; la cual expresa la relación entre el valor esperado de la variable aleatoria Y/X y el valor de la variable X. Donde X es la variable independiente y Y la variable cuyo valor esperado se desea conocer a partir del conocimiento del valor de X.

La función que relaciona a X con $E(Y/X)$ puede tomar distintas formas, pero en esta investigación se empleará el Modelo lineal de primer orden porque se va a realizar una linealidad con respecto a parámetros y no a variables, además permite establecer una recta entre las mismas.

4. CODIFICACIÓN DEL ALGORITMO PROPUESTO

Luego de realizar una análisis de las técnicas estadísticas utilizadas para estimación o predicción de parámetros, se describirá paso a paso la solución propuesta (algoritmo de predicción del stock de piezas de repuesto para equipos médicos), a través de una presentación en pseudocódigo de su codificación; con el propósito de facilitar su comprensión a partir del lenguaje natural, y de esta forma pueda ser utilizado en otros sectores de la economía y los servicios, posibilitando una mejor gestión de piezas de repuesto. Además, la presentación de la solución en pseudocódigo se considera más precisa, mejor estructurada y universal.

Algorithm: Prediction of the Stock of Spare Parts for Medical Equipment

```

1: Procedure Stock_Prediction()
2: begin
3: prediction := 0
4: stock_parts_array := empty
5: for(i:=1; i<=reported equipments_count; i++)
6: begin
7:   for(j:=1; j<=broken_parts_count; j++)
8:   begin
9:     annual_failures_array_x := The frequency of failures of the analyzed part is selected
10:    annual_stock_array_y := The annual stock assigned to the analyzed part is selected
11:    for(k:=1; k<=failure_count; k++)
12:    begin
13:      a:=Sum of x*y
14:      c:=Sum of x
15:      d:=Sum of y
16:      e:=c^2
17:    end for
18:    f:=e/failure_count
19:    b:=(c*d)/failure_count
20:    b1:= (a - b) / (e - f)
21:    b0:= (d / failure_count) - b1 * c / failure_count
22:    value :=c / failure_count
23:    prediction := b0 + (b1 * value)
24:    stock_parts_array:= prediccion
25:  end for
26: end for
27: return stock_parts_array
28: end

```

Con el objetivo de probar el algoritmo propuesto en esta investigación científica y dar solución al problema de predicción de stock de piezas de repuesto para equipos médicos, se hizo necesario la implementación de un

módulo que lleva por nombre Predicción y Gestión de Stock, el cual estará integrado con el Sistema de Gestión para la Ingeniería Clínica y Electromedicina (SIGICEM), retroalimentándose de la base de datos del sistema, específicamente de la tabla que almacena las órdenes de servicio reportadas por los electromédicos ubicados en las OBICEM, encargados de planificar de forma manual las piezas de repuesto que dan solución a los reportes emitidos por fallas de la tecnología médica.

5. TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DESARROLLO DEL ALGORITMO

Para el diseño e implementación del algoritmo de predicción del stock de piezas de repuesto para equipos médicos, así como del Módulo de Predicción y Gestión de Stock se emplearon diversas tecnologías y herramientas que se encuentran previamente definidas por la dirección del proyecto SIGICEM y por investigaciones realizadas con anterioridad.

5.1 LENGUAJE UNIFICADO DE MODELADO: UML 2.1

A través de este lenguaje gráfico se pudo visualizar, especificar, construir y documentar el algoritmo propuesto en esta investigación, permitiendo además la descripción de aspectos concretos relacionados con el lenguaje de programación utilizado, los esquemas de la base de datos, así como los componentes reutilizables. (Booch et al 2011).

5.2 HERRAMIENTAS CASE

Para el modelado del algoritmo se utilizará como herramienta Case el Visual Paradigm for UML Enterprise Edition 3.6 (Visual Paradigm 2011) porque constituye una herramienta profesional que soporta el ciclo completo del desarrollo del software y emplea como lenguaje de modelado UML. Unida a esta herramienta de modelado se utilizará además, el diseñador de base de datos: DB Designer Fork en su versión 1.0 (FabFORCE.net), ya que constituye un programa de diseño visual de bases de datos que integra el diseño y el modelado de la misma.

5.3 ENTORNO DE DESARROLLO: ZEND STUDIO FOR ECLIPSE

Una vez diseñada la base de datos, se procederá a la implementación de la solución propuesta a través del empleo del Entorno de Desarrollo Integrado (cuyas siglas en inglés es IDE) Zend Studio For Eclipse, ya que constituye un IDE de gran potencialidad para el desarrollo de aplicaciones, con un código legible y entendible. (The PHP Company)

5.4 FRAMEWORK SYMFONY 1.4

Con el objetivo de simplificar el desarrollo de la solución propuesta en esta investigación científica se empleará el Framework de desarrollo Symfony en su versión 1.4 (Potencier and Zaninotto 2011). Unida a la plataforma de trabajo Symfony se empleará el Framework de presentación EXT JS en su versión 2.2 (Curso de Ext JS), ya que implementa la tecnología Ajax, brinda múltiples posibilidades en cuanto a validaciones y manejo de errores en el cliente.

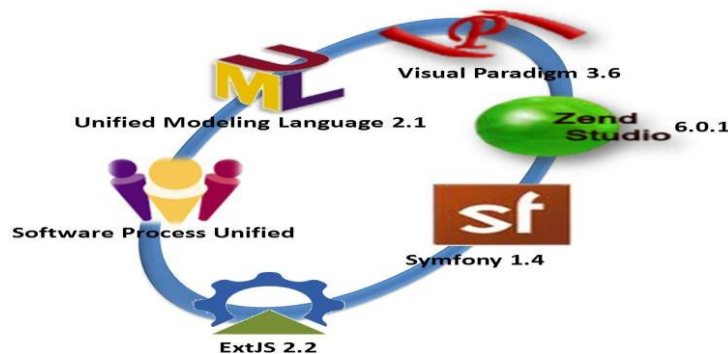


Figura 1. Principales herramientas utilizadas para el desarrollo del algoritmo de predicción de stock de piezas de repuesto para equipos médicos

5.5 PLATAFORMA DE DESARROLLO: LAMP

Como el algoritmo de solución que se propone constituye un paquete que será utilizado por el Sistema de Gestión para la Ingeniería Clínica y Electromedicina (SIGICEM) y además permitirá la interacción con los datos almacenados en la base de datos del sistema, se decide utilizar como plataforma de desarrollo LAMP, compuesta por un conjunto de aplicaciones opensource que trabajando juntas permiten disponer de un servidor Web, ya sea para desarrollo o para producción.

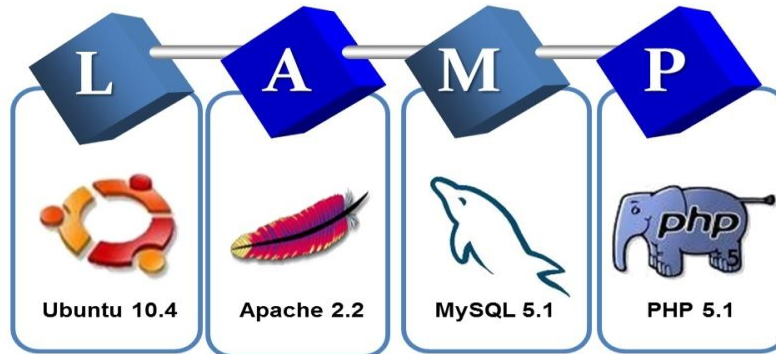


Figura 2. Plataforma de desarrollo: LAMP

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las técnicas estadísticas de estimación analizadas en el acápite 4 han permitido dar solución al problema planteado en esta investigación, relacionado con la predicción del stock de piezas de repuesto para equipos médicos; por lo que se pretende con la realización de este acápite exponer un conjunto de resultados obtenidos a través de pruebas realizadas al módulo implementado (Predicción y Gestión de Stock) para el Sistema de Gestión para la Ingeniería Clínica y Electromedicina (SIGICEM). El mismo, permitirá a los especialistas del CICEM planificar la cantidad (stock) de piezas necesarias para dar solución a los reportes por rotura y mantenimiento. Proponiéndose además, una metodología para predicción (planificación) del stock de piezas de repuesto para equipos ubicados en diversos sectores: de producción o servicios.

6.1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA PREDICCIÓN DEL STOCK DE PIEZAS DE REPUESTO

La metodología propuesta a continuación puede ser implementada en cualquier organización que requiera la gestión de piezas de repuesto de forma organizada, para ello se hace necesario seguir los siguientes pasos para su implementación:

- **Paso 1:** Se debe tener almacenado los stocks de piezas planificados en períodos precedentes (históricos de stock de piezas de repuesto).
- **Paso 2:** Se requiere además de lo requerido en el paso 1, tener almacenado las fallas de los equipos ubicados en la organización. En caso de no tenerse esta información poseer al menos los reportes de roturas realizados por los operarios de dicho equipamiento en años precedentes (históricos de roturas).
- **Paso 3:** Luego de tener los históricos de stock de piezas y fallas de los equipos de años precedentes, se procede a la estimación de la ecuación de regresión a través del modelo lineal de primer orden.
- **Paso 4:** Posteriormente, se procede a la estimación de los stocks de piezas a partir de la ecuación de regresión lineal simple estimada. Esta puede realizarse determinando la frecuencia de falla a través del cálculo de la media muestral, que en este caso representará el promedio de fallas de la pieza analizada.
- **Paso 5:** Finalmente, se comprueba a partir de las Dósimas de Hipótesis para la pendiente si se acepta o se rechaza el modelo lineal empleado para la estimación; es decir, si la predicción es fiable.

- **Paso Alternativo:** En caso de que la predicción no resulte fiable se procederá a analizar la aplicación de otras técnicas estadísticas; como por ejemplo: Regresión Lineal Múltiple, Estimación Puntual o por Intervalos u otras.

6.2 VALIDACIÓN DEL ALGORITMO PROPUESTO

Con el propósito de probar el algoritmo implementado se tomaron 12 943 reportes emitidos por roturas en las órdenes de servicio pertenecientes a la provincia de Pinar del Río; constituyendo esta la población en estudio. La misma, fue estratificada posteriormente por especialidad, denominación del equipo y descripción de la pieza, para realizar un análisis pormenorizado de las fallas; dando lugar a una mejor precisión en las estimaciones del stock de piezas de repuesto de equipos médicos; considerándose que estas subpoblaciones presentan características similares y por tanto son homogéneas internamente. Con el objetivo de demostrar la efectividad del algoritmo implementado, se presenta un análisis estadístico de una pieza perteneciente a un determinado equipo médico.

6.2.1 ANÁLISIS DE LA PIEZA PELTIER ELEMENT (TEC1-127015)

- **Pieza:** Peltier Element (TEC1-127015)
- **Denominación de equipo:** Espectrofotómetro
- **Especialidad:** Laboratorio y Electro-óptica

Tabla 1: Datos para la estimación de stock de la pieza Peltier Element (TEC1-127015)

Año	Frecuencia de Fallas Anual (X)	Stock Anual (Y)	X ²	Y ²	X×Y
2006	14	16	196	256	224
2007	12	13	144	169	156
2008	15	17	225	289	255
2009	14	16	196	256	224
2010	18	20	324	400	360
2011	33	36	1089	1296	1188
2012	11	13	121	169	143
Total	117	131	2295	2835	2550

A partir de los datos representados en la tabla 1 se procede al cálculo del coeficiente de correlación lineal: $r_{xy}=0.99$, observándose que existe una fuerte relación lineal entre las variables analizadas. Posteriormente, se estima la ecuación de regresión, a través del cálculo de la pendiente (β_1) y el término independiente (β_0), quedando: $\beta_1=1.06$ y $\beta_0=0.99$. Por lo que la recta (ecuación) estimada queda representada como:

$$\hat{Y} = 0.99 + 1.06X$$

Luego se estima el stock correspondiente al año 2013, determinando la frecuencia de fallas (\bar{X}) empleando como medida descriptiva la media aritmética, quedando de la siguiente forma: Para una frecuencia de fallas (\bar{X}) aproximadamente de 17, donde $n = 7$ años la estimación del stock para la pieza Peltier Element (TEC1-127015) es de 19 piezas de repuesto. Después de tener la estimación de la pieza analizada para el año 2012, se procede a calcular la fiabilidad de la predicción a partir de la Décima de Hipótesis de la Pendiente. Para ello se debe calcular el coeficiente de determinación (R^2) para medir la proporción de la variación total (con respecto a \bar{Y}).

$$SCT \text{ (Suma de Cuadrado Total)} = 383.43$$

$$SCReg. \text{ (Suma de Cuadrado Regresión)} = 382.06$$

$$SCRes. \text{ (Suma de Cuadrado Residual)} = 1.37$$

Obteniéndose: $R^2 = \frac{SC_{Reg}}{SCT} = \frac{382.06}{383.43} = 0.99$

El resultado del coeficiente de determinación representa un 99 % de la variabilidad explicada en la recta de regresión, observándose que el valor de este coeficiente es elevado y por tanto el modelo lineal es exacto aproximadamente. Asimismo, se realiza un análisis de varianza aplicando la Dócima de la Pendiente luego del cálculo del coeficiente de determinación (R^2), empleando el estadígrafo F-Fisher.

Dócima de la Pendiente:

Tabla 4: Tabla de análisis de varianza

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F-Fisher
Total	383.43			
Reg.	382.06	1	382.06	1415.03
Res.	1.37	5	0.274	

Para un nivel de significación de un 5% se tiene como región crítica: $F > F_{1-\alpha;1;n-2} = F_{0.95;1;5}$ $F > 6.61$.

Finalmente, de acuerdo al resultado se observa que el estadígrafo de prueba no cae en la región crítica, por lo que se rechaza la hipótesis nula, considerándose que la relación lineal establecida es significativa en su aporte a la estimación (\hat{Y}).

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS DIRECCIONES

- Se realizó un estudio detallado de sistemas de gestión y algoritmos que realicen estimaciones del stock de piezas de repuesto para todo tipo de equipo ubicado en diversos sectores de producción o servicios, con el objetivo de destacar la necesidad de realizar la investigación propuesta.
- La caracterización de los procesos llevados a cabo por el Sistema Nacional de Electromedicina para la planificación del stock de piezas de repuesto para equipos médicos, ofreció la posibilidad de obtener una guía para el diseño e implementación del algoritmo propuesto.
- Con el objetivo de aplicar técnicas estadísticas: muestreo, correlación y regresión lineal simple en la solución planteada se realizó un análisis detallado de las mismas para su posterior incorporación en la implementación del algoritmo diseñado.
- Se implementó el algoritmo de predicción de stock, empleando las técnicas estadísticas seleccionadas para dar solución al problema planteado en la investigación.
- Asimismo, se propuso una metodología para predicción del stock de piezas de repuesto para equipos ubicados en diversos sectores: de producción o servicios.
- Se validó el algoritmo implementado a partir de los datos almacenados en el Sistema de Gestión para la Ingeniería Clínica y Electromedicina (SIGICEM), con el objetivo de demostrar la fiabilidad de las estimaciones.
- Por otra parte, se propone para futuras investigaciones investigar nuevas variables que influyan en la planificación del stock de piezas de repuesto para equipos médicos, con el objetivo de aplicar la Regresión Lineal Múltiple y obtener estimaciones más específicas y exactas.

8. REFERENCIAS

BDS-Business Development Software (2011) <http://www.proyectosbds.com/software-y-programacion-a-medida/programacionphp-lamp-zf/107/> Consultado 28 Enero 2011

Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I (2011) UML El Lenguaje Unificado de Modelado. <http://elvex.ugr.es/decsai/java/pdf/3E-UML.pdf>. Consultado 28 Enero 2011

Cochran W G Técnicas de Muestreo. Editorial Continental, S. A. México. <http://es.scribd.com/doc/186445967/1-TECNICA-DE-MUESTREO-WILLIAM-GCOCHRAN>. Consultado 19 Febrero 2011

Compañía Infor ION (2010) Software Infor SCM. <http://www.infor.es/compania/demos-soluciones/solutiondemos-scm/> Accessed 10 Octubre 2010

Curso de Ext JS. <http://www.senado.bo/upload/auditoria/pdf/10-58093151cursodeextjs.pdf>. Consultado 28 Enero 2011.

FabFORCE.net Fabulous Force Database Tools (2011). <http://fabforce.net/dbdesigner4/> Consultado 28 Enero 2011

Hernández N, González C H et al (2001) Modelo de Gestión de aprovisionamiento para el Operador Logístico EMSUNA. Camagüey: Filial Camagüey del CID-CI. <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/eventos/index/assoc/HASH018a.dir/doc.pdf>. Consultados 10 Febrero 2010.

IBM (2010) Valogix. http://spain.valogix.com/solutions/valogix_inventory_planner_enterprise_features.html. Consultado 25 Noviembre 2010

INSOLCA (2010). <http://www.insolca.com/sysman/>. Consultado 10 Febrero 2010

Ma L, Zhang P, Sun K (2010) Optimization of a Two-Echelon Supply Network Using Multi-Objective Genetic Algorithms <http://csdl.computer.org/dl/proceedings/csie/2009/3507/05/3507e406.pdf>. Consultado 19 Febrero 2011

Martínez Vargas, J E (2010) Administracin de Inventarios. www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r12504.DOC Consultado 25 Noviembre 2010

Niju P J, Radhamani G (2010) Determining robust solutions in supply chain using genetic algorithm. <http://csdl.computer.org/dl/proceedings/dsde/2010/3958/00/3958a275.pdf>. Consultado 19 Febrero 2011

Osmayadan C V (2007) ReporTech: Gestión de Tecnología Médica. VII Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería. Habana, Cuba. <http://www.hab2007.sld.cu/Members/felix/reportech-gestion-de-tecnologia-medica/> Consultado 20 Octubre 2011

Potencier F, Zaninotto F (2011) Symphony la guía definitiva. <http://www.symfony.es/categoria/doctrine/page/4/> Consultado 28 January 2011

SAP España (2010) <http://www.sap.com/spain/solutions/sam/service-partsplanning-and-procurement.epx>. Consultado 25 Noviembre 2010

The PHP Company (2011) Zend Studio for Eclipse <http://static.zend.com/topics/Studio-for-Eclipse-Datasheet-600.pdf>. Consultado 28 Enero 2011

Visual Paradigm Boost Productivity with Innovative and Intuitive Technologies (2011) <http://www.visual-paradigm.com/product/vpuml/> Consultado 28 Enero 2011