



Revista Científica "Visión de Futuro"  
ISSN: 1669-7634  
ISSN: 1668-8708  
revistacientifica@fce.unam.edu.ar  
Universidad Nacional de Misiones  
Argentina

## Herramientas cuantitativas para la planificación del mantenimiento en entidades de servicio in situ

**Rodríguez González, Ernesto; Garza Ríos, Rosario; González Sánchez, Caridad**

Herramientas cuantitativas para la planificación del mantenimiento en entidades de servicio in situ

Revista Científica "Visión de Futuro", vol. 27, núm. 1, 2023

Universidad Nacional de Misiones, Argentina

**Disponible en:** <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357972230007>

**DOI:** <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2023.27.01.004.es>

Los trabajos publicados en esta revista están bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 2.5 Argentina. Importante: El autor es el titular de los derechos de explotación de los contenidos del artículo de su autoría.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.



## Herramientas cuantitativas para la planificación del mantenimiento en entidades de servicio in situ

Quantitative tools for maintenance planning for in-situ service entities

*Ernesto Rodríguez González*

*Facultad de Ingeniería. Universidad Panamericana*

*Ciudad de México, México, Cuba*

*erodrigo@up.edu.mx*

DOI: [https://doi.org/10.36995/](https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2023.27.01.004.es)

[j.visiondefuturo.2023.27.01.004.es](https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2023.27.01.004.es)

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357972230007>

*Rosario Garza Ríos*

*Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio*

*Echeverría (CUJAE), Cuba*

*rosariog@ind.cujae.edu.cu*

Recepción: 01 Octubre 2021

Aprobación: 01 Febrero 2022

### RESUMEN:

La empresa objeto de estudio se dedica a brindar servicios de mantenimiento in situ, su objetivo es proveer bienes y servicios técnicos de seguridad integral a entidades nacionales y extranjeras, acorde a los estándares vigentes; con profesionalidad y tecnologías de avanzada, garantizando la primacía en el mercado nacional y promoviendo la exportación. Estos servicios implican el desplazamiento de los empleados y los equipos hasta las ubicaciones físicas de los clientes. Las empresas que se dedican a garantizar Sistemas de Seguridad, necesitan mantener siempre disponibles los equipos instalados a los clientes, por lo que es imprescindible para ellas restituir periódicamente las capacidades de estos sistemas. El objetivo del presente trabajo es proponer el uso de un conjunto de herramientas cuantitativas que permitan aumentar la eficiencia y eficacia en la planificación de los servicios de mantenimiento in situ. La empresa seguridad y protección objeto de estudio para la aplicación de la propuesta, mejoró considerablemente en cuanto a disponibilidad de los sistemas instalados a los clientes y en la utilización de los recursos de que disponen. En el trabajo se incluyen herramientas para las fases de la planificación: Largo Plazo, que se realizará anualmente, a Corto Plazo, para decidir mensualmente a cuáles clientes se les atenderán y la Operativa en la que se determina diariamente a qué clientes se les brindará el servicio de mantenimiento.

**PALABRAS CLAVE:** Servicio in situ, Mantenimiento, Sistemas de seguridad, Planificación, Programación Lineal, Ruteo.

### ABSTRACT:

The company under study is dedicated to providing in-situ maintenance services, its objective is to provide comprehensive security technical goods and services to national and foreign entities, according to current standards; with professionalism and advanced technologies, guaranteeing the primacy in the national market and promoting exports. These services involve moving employees and equipment to the physical locations of customers. The companies that are dedicated to guaranteeing Security Systems, need to always keep the equipment installed available to the clients, so it is essential for them to periodically restore the capacities of these systems. The objective of this work is to propose the use of a set of quantitative tools that allow to increase the efficiency and effectiveness in the planning of on-site maintenance services. The security and protection company under study for the application of the proposal, improved considerably in terms of availability of the systems installed to customers and in the use of the resources. The work includes tools for the planning phases: long-term, which will be carried out annually, short-term, to decide on a monthly basis which clients will be served and the daily one in which it is determined on a daily basis which clients will be served.

**KEYWORDS:** In-situ service, Maintenance, Security systems, Planning, Linear Programming, Routing.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas dedicadas a la instalación y mantenimiento de sistemas de seguridad cobran cada día mayor importancia, tanto a nivel mundial como para Cuba, debido a que los riesgos que puedan ocurrir debido a fallos en estos sistemas. Esto hace que las empresas deban preocuparse por contar con la tecnología necesaria para brindar más seguridad en sus entidades, y así evitar exponerse a peligros innecesarios. Los riesgos para las empresas han aumentado en el mundo actual, nuevas maneras de delincuencia, riesgos de incendios, sobrecargas de voltaje, situaciones meteorológicas entre otras. Estos peligros pueden ser combatidos con sistemas de seguridad buenos, eficientes y confiables.

En estos servicios juega un papel imprescindible restituir las capacidades de la tecnología periódicamente, por lo que se hace vital la realización del mantenimiento preventivo el cual garantiza un adecuado funcionamiento de los sistemas. La correcta planificación del mantenimiento será un requisito indispensable para garantizar la prolongación de la vida útil de la tecnología, adicionalmente a ello se hace necesario optimizar los recursos y mejorar el desempeño de la organización.

El problema del mantenimiento ha sido un tema ampliamente tratado en la bibliografía consultada (Cao et al., 2018; George y Patelli, 2017; Viveros et al., 2013; Enriques et al., 2019; Pagani et al., 2019; Rob et al, 2019), entre otros. A criterio de los autores, la gestión del mantenimiento en las organizaciones que brindan servicio con base in situ, ha sido poco tratado, lo que representa el problema que se desea resolver en el presente trabajo.

Enfocar dicho problema con un nuevo paradigma de aplicación de herramientas matemáticas para la toma de decisiones, constituye un aporte del presente trabajo.

En el mismo se presenta un procedimiento para la gestión del servicio de mantenimiento preventivo en una entidad de seguridad y protección que brinda servicio in situ, lo cual evita las reiteradas visitas a un mismo cliente, como resultado de la aplicación de técnicas matemáticas y estadísticas.

El trabajo consta de tres acápite: en el primero se presenta un análisis bibliográfico de la actividad de mantenimiento que fundamenta la necesidad de desarrollo del trabajo. En el segundo se incluye una descripción de la entidad objeto de estudio y en el tercero se muestra las herramientas cuantitativas utilizadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se presenta el análisis bibliográfico que fundamenta teóricamente el desarrollo del trabajo así como la descripción de la entidad objeto de estudio y los métodos y técnicas utilizados.

### Análisis bibliográfico

El mantenimiento ha ido evolucionando en sus conceptos y métodos desde la década del 40 del siglo pasado, cobrando mayor interés en la actualidad. Variadas han sido las publicaciones donde se pueden encontrar temas de interés relacionados con esta actividad, su definición, enfoques y herramientas a utilizar (Khatab et al., 2018; Kalinowski et al., 2019 y Ardila et al., 2016).

Entre los estudios realizados por varios autores vinculados con el mantenimiento se encuentran la:

- necesidad de realización de un diagnóstico (Martinez et al., 2019).
- determinación de la confiabilidad operacional (Fornes et al. ,2016;Díaz et al.,2018)
- utilización del análisis clúster, la modelación matemática y la metahurística para resolver un problema de mantenimiento en redes ferroviarias (Liden y Joborn,2017;Kalinowski et al.,2019 y Papageorgiou et al.,2018) y
- optimización del mantenimiento en generadores de potencia eólica (Salgado et. al, 2018)

Otros autores como (Xiao et al., 2010 y Duran, 2011) plantean la necesidad del uso de técnicas de expertos, encuestas, opinión de clientes para recopilar y luego procesar la información utilizando diferentes técnicas estadísticas, modelos de lógica difusa o el método AHP (Proceso Analítico por Jerarquías (Analytic Hierarchy Process – AHP)) para obtener la jerarquización de los problemas.

La integración de los gráficos de control a la gerencia de mantenimiento con el diseño de un modelo matemático para analizar el costo por hora del mantenimiento es tratado por (Zhou y Zhu, 2008).

Algunos de los métodos y herramientas de la toma de decisiones (Falatoonitoosi et al., 2013) utilizan el AHP como parte de un modelo multicriteriohíbrido para obtener la decisión final de un problema complejo de planificación del mantenimiento, (Zhou y Zhu, 2008), muchos de estos métodos y herramientas han servido de base para desarrollar diversos modelos gerenciales de mantenimiento.

A pesar de la amplia gama de estudios realizados sobre la gestión del mantenimiento, existen problemas que no han sido tratados completamente como el que se aborda en el presente trabajo.

Viveros et al (2013) realizan una propuesta de un modelo para la gestión del mantenimiento y el uso de herramientas de apoyo y en (Herrera y Duany, 2016) se muestra una metodología para el diseño de un programa de mantenimiento.

A pesar de la amplia gama de estudios realizados sobre la gestión del mantenimiento, existen problemas que no han sido tratados completamente como el que se aborda en el presente trabajo.

A continuación se realiza una descripción de la entidad objeto de estudio donde se evidencia la situación expresada anteriormente.

### *Descripción de la entidad objeto de estudio*

La empresa de seguridad y protección objeto de estudio es una de las 44 empresas de este tipo con las que cuenta nuestro país. La misma se dedica a brindar servicios de Sistemas Integrales de Seguridad "llave en mano", realizando los trabajos de: proyección, suministros, instalación, puesta en marcha, adiestramiento al cliente y servicio post venta. Este sistema integral se compone de diferentes subsistemas que, interrelacionados, aseguran el nivel de protección adecuado. A continuación se muestran las tecnologías que conforman el sistema integral que brinda la empresa.

#### Protección contra incendios

- Sistema automático de detención de incendios (SADI)
- Sistema de extinción fija
- Sistema de extinción portátil
- Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosféricas

#### Protección física

- Sistema de alarma contra intrusos (SACI)
- Sistema de control de acceso y circulación (C/A)
- Sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV)

#### Protección Electrónica

- Protección contra descargas atmosféricas.

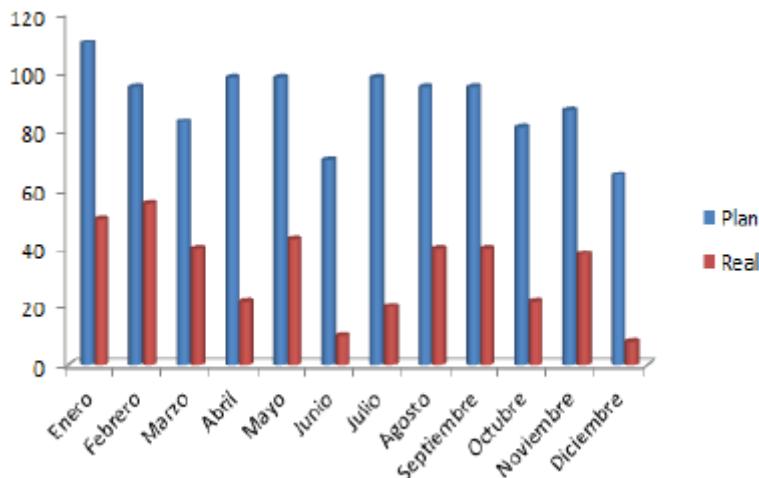
#### -Tierra física

- Supresores de transientes

#### -Cableado estructurado

En este contexto la empresa se encuentra en una posición privilegiada dentro del sector de la seguridad, debido a que presta servicios de aseguramiento a ciclo completo (llave en mano), trabajan profesionales con más de 10 años de experiencia en el sector y se ejecutan proyectos de alta complejidad en el exterior con una infraestructura organizativa que cubre todo el país.

En los últimos años se han venido confrontando problemas con el cumplimiento de los planes de mantenimiento. En la Figura 1 se muestra el comportamiento para el año 2019; en las abscisas se encuentran los meses y en las ordenadas el volumen de clientes a visitar en cada mes para brindar el mantenimiento.



**FIGURA 1**  
Comportamiento de la planificación del mantenimiento  
Elaboración propia con los datos suministrados por la entidad

En la Figura 1 se puede observar que los volúmenes de clientes a visitar para la realización del mantenimiento con respecto al plan de un mes a otro son desiguales, lo que evidencia malos métodos de planificación, esto motivó un análisis de las causas detectándose que las principales son: técnicas organizativas y humanas, siendo las organizativas las que más influyen en los resultados obtenidos, representando el 36% del total.

La planificación del mantenimiento se realiza para cada sistema de manera independiente, considerando el ciclo establecido para los diferentes sistemas de seguridad instalados, como se muestra en la Tabla 1.

Se tienen en cuenta además los tiempos de mantenimiento declarados en los contratos con los clientes según la categoría del mismo, esto se muestra en la Tabla 2.

**TABLA 1**  
Ciclo de mantenimiento

Sistema	Ciclo de mantenimiento
SACI: Sistema de alarmas contra intruso	2 veces al año
SADI: Sistema automatizado de detección contra incendios	4 veces al año
CCTV: Circuito cerrada de televisión	2 veces al año
SCA: Sistema de control de acceso	2 veces al año
Extinción fija	4 veces al año
Extinción portátil	2 veces al año
Protecciones eléctricas	2 veces al año

Elaboración propia con los datos de la entidad.

**TABLA 2**  
Tiempos de mantenimiento contratados.

Categoría	Tiempo de mantenimiento (horas)
Simple	4
Medianamente complejo	8
Complejo	16
Muy complejo	40
Extremadamente complejo	80

Elaboración propia con datos de la entidad

La falta de integración en la planificación del mantenimiento ha provocado que existan incumplimientos, obteniéndose un cumplimiento promedio de 38,4%, 59,3% y 73,4% en los últimos años (Garza et al., 2019).

Un análisis de la encuesta de satisfacción realizada a los clientes arrojó que sólo el 67,5% considera que la empresa siempre cumple con la frecuencia de mantenimiento establecida, evidenciándose un alto grado de insatisfacción de los mismos. Mientras que el 68% considera que el servicio es Regular.

El análisis de los problemas presentados y de la literatura consultada permitió arribar a la conclusión de que es necesario diseñar un procedimiento que basado en métodos cuantitativos permita planificar el servicio de mantenimiento en entidades que brindan servicio in situ.

A continuación se realiza una descripción del procedimiento de trabajo utilizado por los autores para la obtención del plan de mantenimiento con un enfoque cuantitativo el que incluye materiales y métodos empleados.

## Herramientas cuantitativas para la obtención del plan de mantenimiento

El procedimiento de trabajo propuesto por los autores cuenta con cinco fases, en cada una de las cuales se propone el uso de técnicas cuantitativas para la toma de decisiones, herramientas estadísticas y de gestión. En la Tabla 3 se muestran cada una de las fases que conforman el procedimiento, las actividades involucradas en cada una y el objetivo que se persigue.

Las fases van desde el diagnóstico detallado del servicio hasta el análisis de la efectividad y mejora y se hace una valoración de los resultados obtenidos con vistas a la mejora continua.

**TABLA 3**  
Fases del procedimiento

<b>Fase</b>	<b>Actividades</b>	<b>Objetivo</b>
I. Diagnóstico de la situación actual del proceso de mantenimiento	Diagnóstico de la situación actual	Realizar un levantamiento del proceso de planificación y determinar las posibilidades de mejora.
II. Planificación y organización del servicio de mantenimiento	Clasificación de clientes Incorporación de un nuevo cliente Estimación de los tiempos de mantenimiento Balancear la carga de trabajo Definir los clientes que recibirán mantenimiento en un mes	Identificar los grupos de clientes según sus complejidades Asignar un cliente nuevo a una brigada, a través del balance de carga y capacidad Obtener la ecuación de regresión para estimar los tiempos de mantenimiento Balancear la cantidad de horas de trabajo en el período de planificación. Determinar qué clientes recibirán el servicio de mantenimiento en cada mes.
III. Elaboración del plan mensual de mantenimiento	Elaboración del plan	Conformar el plan anual de mantenimiento a partir de los resultados de la Etapa II
IV. Elaboración del plan operativo de mantenimiento	Elaborar el plan de recorridos diarios	Diseñar los recorridos de visita a los clientes
V. Análisis de la efectividad y mejora	Ánalisis de la efectividad y mejora	Proponer indicadores para evaluar la efectividad

Elaboración propia

El trabajo centra su atención en un conjunto de actividades que en opinión de los autores son las más adecuadas para la inclusión de herramientas cuantitativas por su complejidad e importancia, las cuales son:

-Fase II: Planificación y organización del servicio de mantenimiento.

\*Estimación de los tiempos de mantenimiento

\*Balancear la carga de trabajo

\*Definir los clientes que se le dará mantenimiento en un mes

-Fase III: Elaboración del plan mensual de mantenimiento

\*Elaboración del plan

-Fase IV: Elaboración del plan operativo de mantenimiento

\*Elaborar el plan de recorridos diarios

-Fase V: Análisis de la efectividad y mejora

\*Análisis de la efectividad y mejora

A continuación se muestra una breve exposición de cada una de estas actividades

-Fase II: Planificación y organización del servicio de mantenimiento

\*Estimación de los tiempos de mantenimiento

Al implementar un servicio de mantenimiento, los tiempos reales de dicha actividad no se conocen a priori, estos están sujeto a variaciones dependiendo de las características del cliente y de los operarios que efectúen el mantenimiento.

Para estimar los tiempos del servicio de mantenimiento preventivo, se propone hacer uso de la técnica de regresión (Martínez et al., 2018) para lo que cual se deben ejecutar los siguientes pasos:

- 1.Selección de la variable dependiente e independiente.
- 2.Recogida de datos
- 3.Procesamiento de los datos
- 4.Estudiar la inferencia de la regresión
- 5.Analizar la ecuación hallada para estimar los tiempos.

El objetivo de un estudio de regresión simple es encontrar un modelo matemático que caracterice la relación entre dos variables y que permita hacer estimaciones de una en función de la otra. Esto implica que será necesario diferenciar entre la variable independiente X y la variable dependiente o respuesta Y.

Definidas la variable dependiente y las variables independientes se deben recopilar y procesar los datos pertinentes a cada una de ellas. Para el procesamiento de los mismos se puede utilizar cualquier paquete estadístico que agilice el proceso de obtención de la ecuación final.

Los tiempos de servicio de mantenimiento para cada sistema demuestran que no todos se demoran lo mismo. Esto ocurre porque no solo dependen de la naturaleza del mantenimiento, sino también de la clasificación integral del cliente demorándose más aquellos que mayor puntaje tengan (Garza et al., 2019).

La variable dependiente seleccionada para este trabajo es el tiempo de mantenimiento y como variable independiente la puntuación del cliente en cada una de las tecnologías, la cual incluye: altura a la que se encuentra situada la tecnología, obstrucción y complejidad del equipamiento, condiciones ambientales, cantidad de equipos a los que se le dará mantenimiento, cantidad de dispositivos, entre otras.

Para la obtención de la ecuación de regresión se evaluaron un total de 60 clientes, se muestreó in situ el tiempo invertido en cada uno teniendo en cuenta su clasificación.

Se obtienen dos ecuaciones de regresión en función de la puntuación que el cliente recibe por los sistemas de seguridad electrónica y extinción portátil, que se muestran a continuación:

Sistemas de Seguridad Electrónica:

$$TMSE = -637,6 + 1313 \text{ pun SE} - 648,3 \text{ pun SE2} + 114,9 \text{ pun SE3}$$

Sistema de Extinción Portátil:

$$TMEP = 38,07 - 72,20 \text{ pun EP} + 261,0 \text{ pun EP2} - 119,3 \text{ pun EP3}$$

Donde:

pun SE: puntuación obtenido en SE

pun EP: puntuación obtenido en EP

En las ecuaciones obtenidas se eliminan el 96,7% y el 94,5% de los errores. A pesar que índices determinados fueron altos, resulta necesaria la recogida de más información para lograr una mejor precisión en los tiempos de mantenimiento integral.

Para el caso de las tecnologías de protecciones eléctricas y extinción fija no se realizaron ecuaciones de regresión, pues se conocen los tiempos de mantenimiento de todos los clientes.

-Balancear la carga de trabajo

El uso de un modelo matemático de Programación Lineal permitirá balancear la carga de trabajo de mantenimiento. Para plantear un modelo matemático de Programación Lineal se necesita definir un conjunto de variables de decisión, la función objetivo y el conjunto de restricciones que limitan el área de soluciones. A continuación se definen las variables de decisión utilizadas en este caso. En la Tabla 4 se muestra el modelo matemático que se propone

Donde:

TA, TB, TC: Cantidad de clientes con clasificación A, B y C cuyo ciclo de mantenimiento es cada seis meses.

Ta, Tb, Tc: Cantidad de clientes con clasificación A, B y C cuyo ciclo de mantenimiento es cada tres meses.

$$T1 = Ta + Tb + Tc$$

$$T2 = TA + TB + TC$$

La restricción 1 garantiza que el total de clientes que se visita en cada mes de trabajo, estará balanceado en cuanto a la complejidad, mientras que la restricción 2 no solo considera la complejidad, sino el número total de clientes que serán visitados de acuerdo con el ciclo de mantenimiento. La restricción 3 garantiza que se planifique el total de clientes.

Para obtener la solución del modelo matemático se puede utilizar cualquiera de los softwares desarrollados para resolver problemas de Programación Lineal, entre los que se encuentran: WinQSB, QmWin, SolverPro, Lips, incluso se puede utilizar el Solver del Excel, o cualquier otro software libre en internet para la solución del problema.

TABLA 4  
Modelo matemático para determinar la cantidad de clientes

Variable de decisión	$X_{ijk}$ : Cantidad de clientes del tipo i con clasificación j a bridarle mantenimiento en el mes k	
	i: 1 (frecuencia de 4 veces al año) 2 (frecuencia de 2 veces al año)	
	j= A,B, C      k= 1, 2, 3, 4, 5, 6	
1. Restricción de balance de complejidad	$X_{iAk} \leq t_A/3$ $X_{iAk} \leq T_A/6$ $X_{iBk} \leq t_B/3$ $X_{iBk} \leq T_B/6$ $X_{iCk} \leq t_C/3$ $X_{iCk} \leq T_C/6$ $\forall k$ $\forall i$	
2. Restricción para balancear el total en los meses planificados	$X_{1jk} \leq ta/3$ $X_{2jk} \leq tb/3$ $\forall j, k$	
3. Restricción para que no se asigne menos cantidad que el total existente	$X_{1j1} + X_{1j2} + X_{1j3} = T_1$ $X_{2j1} + X_{2j2} + X_{2j3} + X_{2j4} + X_{2j5} + X_{2j6} = T_2$ $\forall j$	
Función Objetivo	$\text{Máx } Z = \sum_{i,j,k} X_{ijk}$	

Elaboración propia

-Definir los clientes a los que se le dará mantenimiento en un mes

Para la solución del modelo matemático mostrado en la tabla 4 se empleó el paquete LiPs, el modelo matemático se aplicó a una muestra de 60 clientes para el primer semestre del año 2019, obteniéndose la cantidad de clientes a los que se le puede dar mantenimiento en cada uno de los meses del semestre, los resultados que se muestran en la Tabla 5.

TABLA 5  
Cantidad de clientes que se le puede dar mantenimiento en cada mes del semestre

Mes	1	2	3	4	5	6
Total	17	16	17	17	16	17

Elaboración propia a partir de los resultados del software LiPs.

En la muestra seleccionada no existen clientes A a los que se les realice mantenimiento cada 6 meses, ni clientes C que reciban mantenimiento cada 3 meses. Debido a ello los clientes tipo A se distribuyen todos en el primer trimestre y se repiten para el segundo trimestre. Los clientes C, al igual que una parte de los clientes B se distribuyen entre los 6 meses de planificación. Los resultados obtenidos se encuentran en concordancia con el objetivo del modelo. En todos los meses se visita el mismo número de clientes y el balance por mes en cuanto a complejidad se satisface.

-Definir los clientes que se le dará mantenimiento en un mes

Para determinar a qué clientes se les dará mantenimiento en un mes se diseña un algoritmo que permitirá determinarlos de forma rápida y eficiente. El algoritmo propuesto consiste en agrupar los clientes de la empresa que tienen frecuencia de mantenimiento cada tres meses y los que la tienen cada seis meses. La Figura 2 es una representación del algoritmo propuesto.

A los clientes que tienen frecuencia de mantenimiento cada tres meses se les realiza la planificación por trimestre, y la misma se repite en los cuatro trimestres del año. De esta forma se logra cumplir con lo estipulado en los contratos de los clientes de acuerdo al sistema instalado. En la Tabla 6 queda ilustrado lo anteriormente descrito.

**TABLA 6**  
Frecuencia de mantenimiento

	E	F	M	A	M	J
3 meses	▲	●	■	▲	●	■
6 meses	1	2	3	4	5	6

Elaboración propia



: Clientes con frecuencia de mantenimiento igual a 3 meses a los que se les dará servicio en enero y abril



: Clientes con frecuencia de mantenimiento igual a 3 meses a los que se les dará servicio en febrero y mayo



: Clientes con frecuencia de mantenimiento igual a 3 meses a los que se les dará servicio en marzo y junio

1,2,3,4,5,6

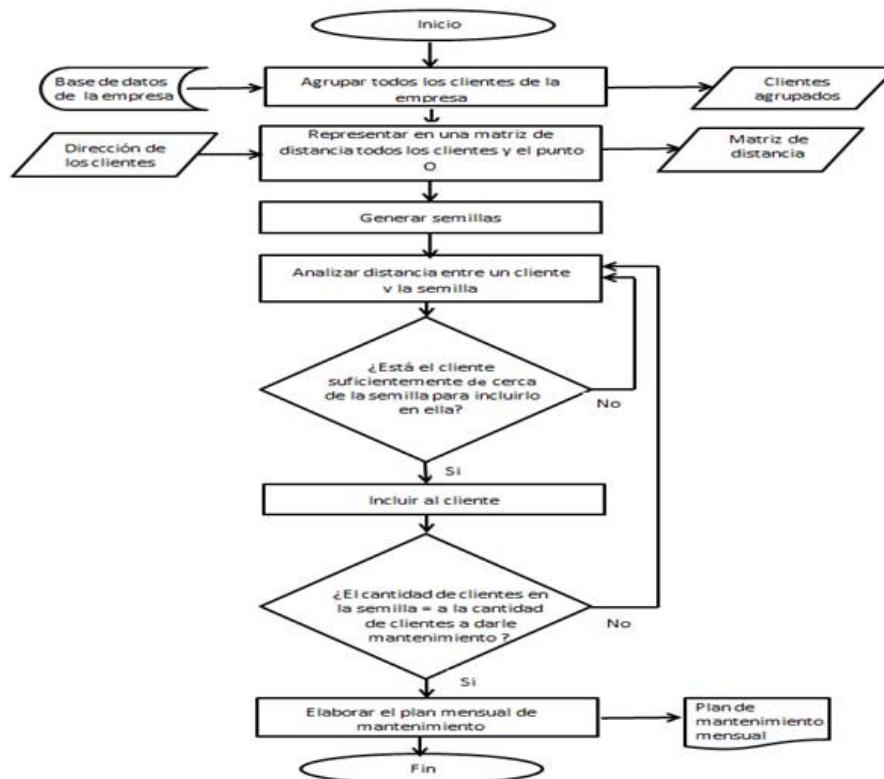
: Clientes con frecuencia de mantenimiento igual a 6 meses a los que se les dará servicio una vez en el semestre

Donde:

Elaboración propia

Según el algoritmo diseñado para llevar a cabo esta actividad lo primero que se hace es agrupar los clientes con la misma frecuencia de mantenimiento. Se determinó que en el mes de enero hay que darles mantenimiento a 5 A, 8 B de cada 3 meses, 2 B de seis meses y 2 C (ver tabla 7).

La aplicación del algoritmo propuesto permitió obtener los clientes a visitar en cada uno de los meses del primer semestre, la planificación para el segundo semestre es la misma dado el ciclo de mantenimiento definido de acuerdo a los sistemas instalados y la clasificación de los clientes.



**FIGURA 2**  
Algoritmo para la determinación del plan mensual  
Elaboración propia

En la Tabla 7 se muestra un resumen de la cantidad de clientes que se visitarán cada uno de los primeros 6 meses del año 2019.

**TABLA 7**  
Cantidad de clientes que se deben visitar para recibir el mantenimiento

Mes	Cantidad de clientes		
	A	B	
		3 M	6 M
enero	5	8	2
febrero	6	6	1
marzo	5	6	2
abril	5	8	2
mayo	6	6	1
junio	5	6	2

Elaboración propia a partir de los resultados del algoritmo de la Figura 2

En la tabla 8 se muestra la asignación para el mes de enero, tablas similares se obtiene para cada uno de los meses del primer semestre del año 2019.

**TABLA 8**  
Cliente visitados en el mes de enero de 2019

Mes: Enero																	
Cliente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Clasificación	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	B	B	C	C

Elaboración propia

### Fase III:

#### Elaboración del plan

Con la información obtenida de la fase anterior y la definición de los clientes a los que se les dará mantenimiento en un determinado mes se elabora el plan mensual de mantenimiento.

En la Tabla 9 se muestra un ejemplo del plan para el mes de enero de 2019, por problemas de seguridad no se identificará el cliente ni la dirección del mismo.

**TABLA 9**  
Resumen del plan mensual

ID	C	CI	TC			Tiempo de mantenimiento estimado (h)				
			EF	SE	PE	EP	EF	SE	PE	EP
1	B			X		X			12,2	0,59
2	B		X			X		4,31		1
9	A	X		X		X	2,50		3	0,45
.										
.										
17	C			X		X			12,2	2,02
			<b>Total</b>				24,2	82,3	154,3	23,4

Elaboración propia

### LEYENDA

ID: Identificación del cliente

C: Nombre del cliente

CI: Clasificación integral del cliente

TC: Tecnología que posee y tiene contratadas

EF: Extinción fija

SE: Seguridad Electrónica

PE: Protección eléctrica

EP: Extinción portátil

Fase IV: Elaboración del plan operativo de mantenimiento

-Elaborar el plan de recorridos diarios

El plan operativo de mantenimiento se conforma con las rutas o recorridos que deben efectuar los vehículos para trasladar los especialistas a los clientes que se les brindará el mantenimiento en el día planificado, se propone la utilización de un método heurístico basado en el coeficiente de distancia ahorrada o salvada (Orrego et al., 2016; Maguiña, 2016; Prato et al. 2015, López y Vergara, 2017), el cual aunque no brinda la solución óptima permite obtener una solución eficiente.

La expresión 1 muestra cómo se determina el coeficiente de distancia ahorrada o salvada:

$$S_{ij} = doi + djo - dij \quad (1)$$

Donde:

Sij: coeficiente de distancia ahorrada o salvada

doi: distancia del punto o al cliente i

djo: distancia del cliente j al punto o

dij: distancia del cliente i al cliente j

A continuación se exponen brevemente los pasos para obtener los recorridos a efectuar, y su descripción.

1. Creación del núcleo generador de la ruta: para ello se debe conocer el tiempo de recorrido entre los clientes o la distancia que los separa, el tiempo de recorrido del punto de salida a cada cliente y el plan de mantenimiento mensual. Con esta información se determina la distancia o tiempo salvado o ahorrado utilizando la expresión 1, el núcleo generador se crea con aquel par de puntos que mayor distancia ahorre.

2. Comprobación de la restricción de tiempo: la restricción se comprueba a través de la expresión 2, utilizando como datos: tiempo de mantenimiento, tiempo de recorrido entre los clientes y tiempo de recorrido del punto de salida a cada cliente. Si se cumple la restricción se comienza con la conformación de la ruta de visita a los clientes y se pasa al paso 3, de no cumplirse se vuelve al paso 1.

3. Incorporación de un nuevo cliente a la ruta: se analiza aquellos puntos que mayor distancia ahorren y puedan unirse con los extremos de la ruta en formación, volviendo al paso 2.

$$Tv(0,i) + Ts(i) + Tv(I,j) + Ts(j) + Tv(j,0) \leq JL - Ta \quad (2)$$

Donde:

Tv = Tiempo de viaje

Ts = Tiempo de mantenimiento

Ta = Tiempo de almuerzo

i: cliente i j:cliente j

Para validar la robustez del método propuesto a continuación se muestran los resultados obtenidos, para ello se utilizan los clientes que se deben visitar en el mes de enero de acuerdo a la solución encontrada en el paso anterior, obteniéndose los recorridos diarios para cada uno de los vehículos disponibles los cuales serán los encargados de llevar a los especialistas hasta los clientes para efectuar el mantenimiento. En la Tabla 10 se muestra el diseño del modelo de hoja de rutas propuesto para llevar a cabo la planificación operativa del mantenimiento, en el cual se incluye además el vehículo que realizará el recorrido.

En el mismo aparecen como quedan las rutas para 3 días de un mismo vehículo.

En el caso que algún cliente requiera de un tiempo de servicio mayor que la jornada laboral (435 minutos descontando el horario de almuerzo), al siguiente día se consideran dichos clientes y el tiempo necesario para concluir su mantenimiento.

Según los resultados de la Tabla 9, el cliente 2 logra satisfacer sus necesidades de mantenimiento con solo una visita, mientras que el 3 necesita 2 visitas y el 4 y 7 necesitan 3 visitas.

TABLA 10  
Hoja de ruta para efectuar la planificación operativa del mantenimiento

Fec	Veh.	Ruta	Secuencia planificada	Especialistas				Distancias Recorridas (Km)	Gasto por consumo combustible (\$)
				EF	SE	PE	EP		
4/01	Citroen (Diesel)	1	Clientes 3-2-1		X	X	X	14,39	0,84
			2 Clientes 4-7-12-13	X	X	X	X	11,945	0,70
5/01		1	Clientes 4-7-3-1		X	X	X	10,18	0,59
6/01		1	Clientes 4-3-12-13	X	X	X	X	8,85	0,52

Elaboración propia

## Fase V: Análisis de la efectividad y mejora

El análisis de la efectividad y mejora de la propuesta está dirigido en tres direcciones: 1) controlar los resultados alcanzados, 2) establecer mecanismos para censar los parámetros reales que permiten su mejora y 3) perfeccionar otros procesos de la entidad.

El seguimiento y medición de los indicadores y variables de control del proceso deben ser monitoreados y auditados para detectar las no conformidades y poder establecer las acciones correctivas y preventivas con vistas a la mejora continua del servicio.

En la Tabla 11 se muestra el conjunto de indicadores propuestos por los autores, considerando la característica de calidad del servicio a que responden, los mismos no son los únicos posibles, cada entidad podrá utilizar estos u otros de acuerdo a sus intereses.

**TABLA 11**  
Indicadores propuestos y su forma de cálculo

Característica de calidad	Indicador	Forma de cálculo
Profesionalidad del personal	% cumplimiento del plan de mantenimiento en fecha	(Cantidad de mantenimiento realizados en fecha / mantenimientos planificados) * 100
	% de clientes satisfechos	(Clientes satisfechos / clientes visitados) * 100
	% cumplimiento de la coordinación	(mantenimiento coordinados / mantenimiento realizados)*100
	% cumplimiento del plan de mantenimiento	(mantenimiento realizados / mantenimiento planificados)*100
Estabilidad del sistema instalado	Cantidad de averías reportadas por concepto de mal mantenimiento	$\sum$ averías reportadas en la central de alarmas
Rapidez del servicio	% de cumplimiento de los tiempos de mantenimiento planificados	(tiempo de mantenimiento planificado / tiempo de mantenimiento real)*100

Elaboración propia

No todos los indicadores propuestos en la tabla 10 fueron posibles de evaluar. Sin embargo, los indicadores calculados muestran como la utilización de herramientas cuantitativas permiten mejorar el cumplimiento del plan de mantenimiento. Los resultados se muestran en la Tabla 12.

**TABLA 12**  
Indicadores

Indicador	% cumplimiento del plan en fecha	% cumplimiento del plan	% de cumplimiento de los tiempos de mantenimiento	% de clientes satisfechos
Valor	98	100	93	86

Elaboración propia

Además de estos indicadores, por su importancia se analizan para el mes de enero otros indicadores de gestión que permiten validar la propuesta realizada en el trabajo: cantidad de clientes visitados, kilómetros recorridos, consumo de combustible y costo por consumo de combustible. En la Tabla 13 se muestran los resultados alcanzados.

**TABLA 13**  
Resultados de la planificación operativa del mantenimiento

	Actual	Propuesta
Cantidad de clientes visitados	9	17
Kilómetros recorridos Km	1 219	713,35
Consumo de combustible (litros)	101,6	59,36
Costo por consumo de combustible (CUC)	81,3	47,49

Elaboración propia

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos con la aplicación de las herramientas cuantitativas para el mes seleccionado arrojaron que el gasto por consumo de combustible se reduce en un 41,5% con respecto al actual, los recursos utilizados cada día fueron 4 vehículos con 12 especialistas. Aun cuando la muestra utilizada fue solamente tomada con los clientes que deben visitarse en un mes, se puede concluir que existen reservas en la planificación del mantenimiento realizado actualmente por la entidad. La propuesta realizada en este trabajo, confirma que con los recursos disponibles de la empresa se puede extender el servicio de mantenimiento preventivo a un mayor número de clientes, reportando más ganancia y una mejor utilización de los recursos.

## CONCLUSIONES

La falta de integralidad en la planificación actual del servicio de mantenimiento en la entidad objeto de estudio provoca incumplimientos en el plan afectando la frecuencia del mantenimiento de acuerdo al tipo de sistema.

El procedimiento de trabajo diseñado permite integrar herramientas cuantitativas y cualitativas para garantizar una planificación anual con carácter científico y con un uso más racional de los recursos, propiciando un mayor enfoque al cliente.

La validación de las mejoras propuestas en la planificación del servicio demostró que es posible realizar una planificación anual con enfoque integral que eleva los niveles de eficiencia de la empresa.

El procedimiento propuesto puede ser aplicado por cualquier entidad que brinde el servicio de mantenimiento in situ.

## REFERENCIAS

- Ardila, J.G., Ardila, M.I., Rodríguez, D. y Hincapié, D.A. (2016). "La gerencia del mantenimiento: una revisión". Dimensión Empresarial. Vol. 14, No. 2, pp 127-142. ISSN: 2322-956X. DOI: <http://dx.doi.org/10.15665/rde.v14i2.480>
- Cao, W., Jia, X., Hu, Q., Zhao, J. y Wu, Y. (2018). "A literature review on selective maintenance for multi-unit systems". Journal Quality and Reliability Engineering International, Vol. 34, Issue 5, pp 1633 - 1638. ISSN: 1099-1638.

## REFERENCIAS

- Díaz, A. Villar, L. y Rodríguez, A. (2018). "Análisis bibliográfico de la confiabilidad operacional en sistemas técnicos complejos". *Ingeniería Mecánica*. Vol. 21, No. 2, pp 77-81. ISSN: 1815-5944
- Durán, O. (2011). "Computer-aided maintenance management systems selection based on a fuzzy AHP approach". *Advances in Engineering Software*, Vol. 42, No. 10, pp 821–829. ISSN: 0965-9978.
- Enriques, A., Muñoz, E., Díaz, A., Rodríguez, J.A., Guillen, J. y Cruz, A. (2019). "Acciones de mantenimiento en apoyo a la producción de una industria biotecnológica". *Ingeniería Mecánica*, Vol. 22, No. 1, pp 1-6. ISSN: 1815-5944.
- Falatoonitoosi, E., Leman, F., Sorooshian, S. y Salimi, M. (2013). "Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory". *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 13, pp 3476-3480. ISSN: 2040-7476.
- Fornés, R., Ochoa, L., Cano, A. y González, E. (2016). "Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el área de laboratorios de una Institución de Educación Superior". *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, Vol. 3, No. 8, pp 77-86. ISSN: 2410-3454.
- Garza, R.C., González, C.N y Rodríguez, E.L. (2019). "Aplicación del método Scoring para la clasificación integral de clientes. *Ingeniare*". Revista Ingeniare. Vol. 27, No. 3, pp 375 – 382. ISSN: 0718-3305.
- George, H. y Patelli, E. (2017). "Maintenance Strategy Optimization for Complex Power Systems Susceptible to Maintenance Delays and Operational Dynamics. Maintenance Strategy". *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 66, No. 4, pp 1309-1330. ISSN: 0018-9529.
- Herrera, M. y Duany, Y. (2016) "Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento". *Revista Ingeniería Industrial*, Vol. 37, No. 1, pp.2-13. ISSN: 1815-5936.
- Kalinowski, T., Matthews, J. y Waterer, H. (2019). "Scheduling of maintenance windows in a mining supply chain rail network". *Computers and Operations Research*, Vol 104, ISSN: 0305-0548. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.03.016>
- Khatab, A., Diallo, C., Venkatadri, C., Liu, Z. y Aghezzaf, E.H. (2018). "Optimization of joint selective maintenance and repairperson assignment problem under imperfect maintenance". *Journal Computers & Industrial Engineering*, Vol 125, pp 413- 422. ISSN: 0360-8352.
- Lidén, T. y Joborn, M. (2017). "An optimization model for integrated planning of railway traffic and network maintenance". *Transportation Research Part C*, Vol. 74, pp.327–347. ISSN: 0968-090X
- López, D. y Vergara, P. (2017). "El enfoque heurístico aplicado a la resolución de problemas en la empresa: entre el método y la estrategia". *Revista Razón y Palabra*, Vol. 21, No. 98, pp. 234-248. ISSN: 1605-4806.
- Maguiña, L. (2016). Implantación de VRP - Solver aplicando la heurística de Clarke Wright para el ruteo del transporte terrestre en el área de distribución caso de estudio: industrias alimentarias, trabajo para optar por el título de ingeniero de sistemas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Martínez, E., González, C.N., Garza, R.C. y Hernández, C. (2018). "Integración de la Simulación, la Regresión y la Optimización multiobjetivo para determinar los recursos en un banco". *Revista Investigación Operacional*, Vol.39, pp 140-150. ISSN: 0257-4306.
- Martínez, E., Cabrera, J. y Arce, B.A. (2019). "Diagnóstico del servicio de mantenimiento de grupos electrógenos de emergencia". *Ingeniería Mecánica*. Vol. 22, No. 2, pp.92-99. ISSN: 1815-5944.
- .Orrego, J.C. Ospina, D y Toro, E.M. (2016). "Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística". *Revista Scientia et Technica*, Vol. 21, No. 3, pp 225- 233. ISSN: 2344 – 7214
- Pagani, P., Fischer, G., Farquhar, I., Skilton, R. y Mittwollen, M. (2019). "A logistical simulation tool to quantitatively evaluate the effect of different maintenance solutions on the total maintenance downtime for fusion reactors". *Fusion Engineering and Design*, Vol. 141, pp 121 -124. ISSN: 0920-3796.
- Papageorgiou, D. J., Cheon, M.S., Harwood, S. y Trespalacios, F. (2018). Recent Progress Using Matheuristics for Strategic Maritime Inventory Routing. Book Modeling Computing and data handling methodologies for

- maritime transportation. Springer International Publishing Cham, 1ra Edición, Berlin, Alemania pp. 59–94. ISBN: 9783-3196-18005. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.04.023>
- Prato, R., Suero, D.F. y Guzmán, O.J. (2015). "Ruteo de Vehículos desde un Centro de Distribución a una Línea de Supermercados en Barranquilla". Revista Ingeniare, No.18, pp 11 – 21. ISSN: 0718-3305
- Rob, J.I., Basten, I.J. y Ryan, J. (2019). "The value of maintenance delay flexibility for improved spare parts inventory management". European Journal of Operational Research. Vol 278, Issue 2, pp 646 – 657. ISSN: 0377- 2217.
- Salgado, Y., Martínez, A. y Santos, A. (2018). "Programación óptima del mantenimiento preventivo de generadores de sistemas de potencia con presencia eólica". Revista Ingeniería Energética, Vol. 39, No. 3, pp. 157-167. ISSN: 1815-5901.
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L. y Crespo, A. (2013). "Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo". Revista Ingeniare. Vol.21, No.1, pp 125-138. ISSN: 0718- 3305 <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>
- Xiao, Z., Chen. L. y Zhong, B. (2010). "A model based on rough set theory combined with algebraic structure and its application: Bridges maintenance management evaluation". Experts Systems with Applications Vol. 37, Issue 7, pp 5295 – 5299. ISSN: 0957-4174. <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/51169.pdf>.
- Zhou, W.H. y Zhu, G.L. (2008). "Economic design of integrated model of control chart and maintenance management". Mathematical and Computer Modelling an international journal, Vol.47, Issue 11 -12, pp 1389-1395. ISSN: 0895-7177

## RESUMEN BIBLIOGRÁFICO

Ernesto L. Rodríguez González: Ingeniero industrial de la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (CUJAE), Dr. C. en Ciencias Técnicas del Instituto Científico Ruso para la investigación en la construcción de maquinaria. Profesor titular de la Universidad Panamericana, Ciudad de México. Investiga en la aplicación de los métodos matemáticos para la mejora del desempeño empresarial, así como los métodos de gestión y control de la calidad.

Rosario C. Garza Rios: Ingeniero industrial de la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (CUJAE), Dr. C. en Ciencias Técnicas, profesor titular de la Facultad de Ingeniería Industrial de la CUJAE, investiga en temas relacionados con la aplicación de la Investigación de Operaciones y los métodos multicriterio para la mejora del desempeño empresarial.

Caridad N. González Sánchez: Ingeniero industrial de la Universidad de la Habana Facultad de Tecnología, Dr. C. en Ciencias Económicas, profesor titular del Centro de Estudios de la enseñanza de las matemáticas para las ciencias técnicas (CEMAT) de la CUJAE, investiga en temas relacionados con la modelación matemática y su aplicación en la solución de problemas empresariales.