

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Modelo de Reemplazo en Equipos y Maquinaria en la Empresa Anescol S.A.S

Víctor Alfonso Barragán Salcedo

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Industrial

Director

Carlos Eduardo Díaz Bohórquez

Magister en Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2018

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Dedicatoria

A Dios por iluminar mi camino y sendero, por brindar siempre esa luz, esa esperanza, esa guía para seguir el camino correcto.

A mis padres, Isolina Salcedo y Luis Barragán, por apoyarme en los momentos difíciles y brindar siempre su apoyo incondicional.

A mis hermanos Luis, Carlos, Belsy, Libardo, en especial a mi hermana por brindarme palabras de apoyo, motivación, lucha y superación.

A mi querido y amado sobrino Juan Esteban, fuente de inspiración para construir un mejor futuro y una mejor calidad de vida para la familia.

A mi querida sobrina Melany Samanta, bella, hermosa, cautivadora y nobleza pura.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Agradecimientos

Este proyecto de grado realizado en la Universidad Industrial de Santander es fruto del esfuerzo y dedicación en el cual, directa o indirectamente muchas personas me han brindado su apoyo, corrigiendo, opinando, ayudándome con sus palabras, su tiempo y paciencia, este es el resultado de muchos años de estudio, sacrificio, dedicación y fe, le agradezco primero a Dios, a mi familia y mis amigos.

Quiero agradecer a mi director de proyecto Carlos Eduardo Díaz por sus conocimientos, su paciencia, su valiosa orientación y sus consejos que me han servido para el desarrollo de este, y me han dado un crecimiento personal en mi vida, pues como lo siento sinceramente él ha sido como un segundo padre para mí. No podían faltar todos los profesores de la Universidad Industrial de Santander que a su manera me brindaron sus conocimientos y sus experiencias de vida; y no podía faltar la señorita Maria Andrea gracias por su apoyo y palabras de motivación. También quiero aprovechar para dar agradecimientos a la empresa ANESCOL S.A.S. por brindarme la oportunidad de realizar esta práctica empresarial, al Ing. Jorge Luis León Ardila, gracias por abrir sus puertas de manera cordial y amable, brindando siempre apoyo incondicional.

A mis amigos de la universidad, Rubén, Carlos, Felipe, Leidy, Esperanza, Román, Tatiana, Anita, Néstor, Laura, Marley Milena, Daniela, con quienes aprendí y viví momentos que llevaré en mi memoria y por último quiero agradecer a la familia Pineda, por su apoyo incondicional.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA**Tabla de Contenido**

Introducción	17
1. Planteamiento del Problema.....	19
2. Justificación del Proyecto.....	21
3. Objetivos	23
3.1. Objetivo general	23
3.2. Objetivos específicos.....	23
4. Generalidades de la empresa Anescol S.A.S.....	24
4.1. Razón social.	24
4.2. Localización.	24
4.3. Objeto social.....	25
4.4. Misión.....	25
4.5. Visión.	25
4.6. Política de calidad.	25
4.7. Política de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente “HSE”.....	26
4.8. Portafolio de servicios.....	26
4.9. Maquinaria y equipos Anescol.....	29
4.10. Obras elaboradas por la empresa Anescol.....	35
5. Marco de referencia.....	37
5.1. Marco de antecedentes	37

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

5.2. Marco teórico	39
5.2.1. Modelo de reemplazo de equipo.	39
5.2.2. Necesidad de reemplazo de equipo o maquinaria.	40
5.2.3. Problema de reemplazo de equipo o maquinaria.	40
5.2.4. Costos asociados a un problema de reemplazo.	42
5.2.5. Modelo de reemplazo de equipos con desgastes determinístico	42
5.2.6. Modelo de reemplazo de equipos con desgaste aleatorio.	43
5.2.7. Reemplazo ocasionado por el diseño económico.....	43
5.2.8. Costo promedio de operación y mantenimiento.....	43
5.2.9 Modelo que no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo:	44
5.2.10. Modelo de costo anual equivalente (CAE):	45
5.2.11. Análisis mediante la utilización de funciones continuas.....	46
5.2.12. Método de estimación de la función que representa el costo promedio de operación y mantenimiento.....	47
5.2.13. Modelo de costos totales promedio:.....	48
5.2.15. Modelo de Reemplazo bajo condiciones de obsolescencia.....	50
6 Metodología	51
7. Diagnóstico.....	52
7.1. Metodología del diagnóstico.	52
7.2.3 Formatos para inspección y diagnóstico de maquinaria pesada, equipos menores y vehículos de transporte	56
7.2.4 Inspección y diagnóstico de maquinaria pesada.	60
7.2.6. Estudio de criticidad.....	65
7.2.7. Consecuencias.	66
7.2.8. Frecuencia de fallas.	67

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.9. Matriz de criticidad.	68
7.2.10. Nivel de criticidad.	68
7.2.12. Matriz de criticidad de la maquinaria pesada.	69
7.2.13. Matriz de criticidad de los equipos menores.	71
7.2.14. Matriz de criticidad de los vehículos de transporte.	71
7.2.15. Determinación del equipo con mayor tiempo en uso o de funcionamiento.	72
7.2.16 Determinación de los tiempos de parada de maquinaria, equipos y vehículos.	73
7.2.17. Determinación del costo de oportunidad para maquinaria y equipos	75
7.2.18. Costo total de mantenimiento y operación.	77
7.2.19. Determinación del equipo al cual se aplicará el modelo de reemplazo.	78
8. Propuesta de Política de Reemplazo para el Equipo Mustang	79
8.1. Formulación del modelo matemático	79
8.2. Análisis de sensibilidad para determinar los valores de k y de r.	80
8.3. Determinación del valor de k	90
8.4. Determinación del valor de r	97
8.5. Aplicación del Modelo Matemático a la perforadora Mustang AC65 (PE-09).	103
8.5.1. Política de reemplazo para la perforadora Mustang AC65.	106
9. Indicadores de la Política de Remplazo de Maquinaria Pesada	107
10. Conclusiones	109
11 Recomendaciones	112
Referencias Bibliográficas	113

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Lista de Tablas

Tabla 1. Cumplimiento de objetivos.....	18
Tabla 2. Obras representativas elaboradas por la empresa Anescol.....	35
Tabla 3 Lista del inventario de los equipos y maquinaria de la empresa Anescol.....	54
Tabla 4. Codificación maquinaria y equipos mayores.....	55
Tabla 5. Evaluación e inspección de partes de los compresores.	60
Tabla 6. Evaluación e inspección de partes de las unidades hidráulicas.....	60
Tabla 7. Evaluación e inspección de partes de las perforadoras.	61
Tabla 8. Evaluación e inspección de partes de los minicargadores.....	61
Tabla 9. Evaluación e inspección de partes de las bombas de inyección.....	61
Tabla 10 Evaluación e inspección de partes de las bombas de concreto.....	62
Tabla 11. Evaluación e inspección de partes del equipo de tensionamiento.....	62
Tabla 12. Evaluación e inspección de partes del montacargas.....	63
Tabla 13. Evaluación e inspección de partes de los tanques de aire.	63
Tabla 14. Evaluación e inspección de partes de los vehículos de transporte	63
Tabla 15. Evaluación e inspección de partes de los equipos.	64
Tabla 16. Ponderación de criterios	66
Tabla 17. Frecuencia de fallas	67
Tabla 18. Análisis de criticidad en los equipos de la empresa Anescol	70
Tabla 19. Año de fabricación y años de funcionamiento de la maquinaria.....	72
Tabla 20. Tiempo de parada en equipos.	74

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 21. Costo de oportunidad anual de los equipos y maquinaria	76
Tabla 22. Costos totales de mantenimiento del equipo y maquinaria.	78
Tabla 23. Valores del CTP con $r= 0,02$	82
Tabla 24. Valores del CTP con $r= 0,03$	83
Tabla 25. Valores del CTP con $r= 0,04$	84
Tabla 26. Valores del CTP con $r= 0,05$	84
Tabla 27. Valores del CTP con $r= 0,06$	85
Tabla 28. Valores del CTP con $r= 0,07$	85
Tabla 29. Valores del CTP con $r= 0,09$	86
Tabla 30. Valores del CTP con $r= 0,13$	86
Tabla 31. Valores del CTP con $k= 0,3$	87
Tabla 32. Valores del CTP con $k= 0,35$	88
Tabla 33. Valores del CTP con $k= 0,4$	88
Tabla 34. Valores del CTP con $k= 0,45$	89
Tabla 35. Valores del CTP con $k= 0,5$	89
Tabla 36. Determinación del nivel de deterioro	91
Tabla 37. Número de horas operativas	92
Tabla 38. Interpretación de los valores y rangos del nivel de probabilidad de deterioro	93
Tabla 39. Determinación del nivel de consecuencia	94
Tabla 40. Determinación del valor de k	95
Tabla 41. Determinación del valor para el nivel de mejoras (NM)	98
Tabla 42. Determinación del valor para el número de años de servicio (NAS)	99
Tabla 43. Interpretación de los valores y rangos del NIT	100

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 44. Determinación del valor para el número de paradas en el año 101

Tabla 45. Determinación del valor de r 102

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Lista de Figuras

Figura 1. Localización de la empresa Anescol.....	24
Figura 2. Anclajes activos.	27
Figura 3. Drenes	27
Figura 4. Micropilotes.	28
Figura 5. Concreto lanzado.	28
Figura 6. Pernos.....	29
Figura 7. Gaviones.	29
Figura 8. Perforadora Berreta T-46.	30
Figura 9. Perforadora Mustang A65C.	30
Figura 10. Perforadora Zhejiang FL 140.....	31
Figura 11. Cotser QKY70.	31
Figura 12. Unidad hidráulica D250.....	31
Figura 13. Furukawa.	32
Figura 14. Soilmec SR-30.....	32
Figura 15. Compresor IR 375 HP-X.	32
Figura 16. Compresor Kaeser 375 M100.....	33
Figura 17. Compresor sulliar 425.....	33
Figura 18. Bomba de inyección Been Royal BW 150.	33
Figura 19. Bomba de lanzado de concreto P 305 Schwing.....	34
Figura 20. Bomba Furetto GP-DS 01.....	34

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Figura 21. Enerpac 6DA1.....	34
Figura 22. Lista de chequeo maquinaria pesada	57
Figura 23. Lista de chequeo de equipos menores.....	58
Figura 24. Lista de chequeo de vehículos.	59
Figura 25. Matriz de criticidad.....	68
Figura 26. Matriz de criticidad en maquinaria pesada	69
Figura 27. Matriz de criticidad en equipos menores	71
Figura 28. Matriz de criticidad de vehículos.....	71
Figura 29. Años de uso de la maquinaria y equipos en Anescol.....	73
Figura 30. Porcentaje de paradas por equipos anualmente.	75
Figura 31. Costo de oportunidad por año para cada equipo y maquinaria.....	77
Figura 32. Nivel de probabilidad de deterioro	93
Figura 33. Calculo del Nivel de Incremento de los costos de operación (NIC).....	95
Figura 34. Determinación del nivel de incremento tecnológico (NIT)	99
Figura 35. Matriz de identificación de tasa de mejores (ITM).....	101
Figura 36. Modelo de reemplazo aplicado a la perforadora Mustang PE-10.....	105

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Lista de apéndices

(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Apéndice A. Descripción de la empresa

Apéndice B. Listado de equipos de la empresa ANESCOL

Apéndice C. Obras elaboradas por la empresa ANESCOL

Apéndice D. Listado de equipos, maquinaria costos de mantenimiento.

Apéndice E. Formato de hoja de vida para el equipo MUSTANG AC 65.

Apéndice F. Codificación de los equipos de la empresa ANESCOL

Apéndice G. Lista de chequeo vehículos de la empresa ANESCOL

Apéndice H. Lista de chequeo de maquinaria pesada de la empresa ANESCOL

Apéndice I. Lista de chequeo de equipos menores de la empresa ANESCOL

Apéndice J. Análisis de criticidad en equipos maquinaria

Apéndice K. Ponderación de criterios

Apéndice L. Hoja de vida de la maquinaria, equipos y vehículos

Apéndice M. Diagnóstico de partes de los equipos

Apéndice N. Costo de oportunidad de los equipos de la empresa ANESCOL

Apéndice O. Modelo de reemplazo aplicado al equipo Mustang AC65

Apéndice P. Diagnóstico de las partes de los equipos

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

RESUMEN

TITULO: MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA EN LA EMPRESA ANESCOL S.A.S*

AUTOR: VÍCTOR ALFONSO BARRAGÁN SALCEDO**

PALABRAS CLAVE: MODELO DE REEMPLAZO, COSTOS DE MANTENIMIENTO, COSTOS DE OPERACIÓN

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo aborda la problemática que existe en algunas empresas colombianas y específicamente para la empresa Anescol, donde se tiene la necesidad de reemplazar o sustituir la maquinaria y equipos, para mantener un nivel óptimo de operación. Por lo general se toma este tipo de decisiones de manera intuitiva o empírica, la cual tiene una desventaja al no contar con un análisis que combine estudios técnicos y económicos, haciendo necesario que los activos fijos tengan una política de reemplazo.

A medida que transcurre el tiempo los activos, la maquinaria o equipos van deteriorándose, envejecen, o fallan por diversas causas y generan paradas en producción o prestación de servicios, causando costos de producción y costos de mantenimiento, disminuyendo las utilidades de la empresa. Aunque la finalidad de los costos de mantenimiento es conservar el mayor tiempo posible los equipos en buen estado para alargar su vida útil, llega un punto en el cual la pérdida de rendimiento del equipo y las nuevas tecnologías hacen viable adquirir un nuevo equipo o maquinaria que seguir trabajando el mismo equipo con averías, fallas o pérdida de eficiencia

Para solucionar este problema, se propone un modelo matemático, con el objetivo de facilitar la toma de decisión de cambio de la maquinaria y equipos de esta empresa, generando una política de reemplazo para estos, minimizando los sobrecostos por gastos operativos y de mantenimiento y los costos de oportunidad al no tener la maquinaria y equipos disponibles, teniendo en cuenta la posibilidad de compra de un equipo nuevo al comparar su valor con los costos acumulados operativos y de mantenimiento, su estado de criticidad, su antigüedad u obsolescencia.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.
Director: Ing. Carlos Eduardo Díaz Bohórquez.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA**ABSTRACT**

TITLE: MODEL OF REPLACEMENT IN EQUIPMENT AND MACHINERY IN THE COMPANY ANESCOL S.A.S *

AUTHOR: VÍCTOR ALFONSO BARRAGÁN SALCEDO**

KEYWORDS: REPLACEMENT MODEL, MAINTENANCE COSTS, OPERATING COSTS

DESCRIPTION:

The present work addresses the problems that exist in some Colombian companies and specifically for the company Anescol, where it is necessary to replace or replace the machinery and equipment, to maintain an optimal level of operation. These decisions are usually made intuitively or empirically, which has a disadvantage in not having an analysis that combines technical and economic studies, making it necessary for fixed assets to have a replacement policy. As time passes, assets, machinery or equipment deteriorate, age, or fail for various reasons and generate stops in production or provision of services, causing production costs and maintenance costs, decreasing the company's profits. Although the purpose of maintenance costs is to keep equipment in good condition for longer as possible, it reaches a point where the loss of performance of the equipment and new technologies make it viable to acquire new equipment or machinery that continue working the same equipment with faults, failures or loss of efficiency

To solve this problem, a mathematical model is proposed, with the aim of facilitating the decision making of the machinery and equipment change of this company, generating a replacement policy for these, minimizing overcharges for operating and maintenance expenses and Opportunity costs by not having the machinery and equipment available, taking into account the possibility of buying a new equipment when comparing its value with the accumulated operational and maintenance costs, its criticality, its age or obsolescence of the equipment that is had In use.

*Bachelor Thesis

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.
Director: Ing. Carlos Eduardo Díaz Bohórquez.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Introducción

El presente proyecto enmarcado bajo la temática de investigación de operaciones, estudia la problemática que existe en Colombia y en otros países en vía de desarrollo, sobre la necesidad de reemplazar o sustituir la maquinaria y equipos, para mantener un nivel óptimo de operación en las diferentes empresas. Por lo general gerentes o administradores se basan en conjeturas, suposiciones o intuiciones, que no tienen un respectivo análisis que combine estudios técnicos y económicos, evidenciando la necesidad de crear una política de remplazo para este tipo de activos.

A medida que transcurre el tiempo los activos, la maquinaria o equipos van deteriorándose, envejecen, o fallan por diversas causas y generan paradas en producción o prestación de servicios, causando costos de producción y costos de mantenimiento, disminuyendo las utilidades de la empresa. Aunque la finalidad de los costos de mantenimiento es conservar el mayor tiempo posible los equipos en buen estado para alargar su vida útil, llega un punto en el cual la pérdida de rendimiento del equipo y las nuevas tecnologías hacen viable adquirir un nuevo equipo o maquinaria que seguir trabajando el mismo equipo con averías, fallas o pérdida de eficiencia. A mayor tiempo de uso del equipo, mayores gastos en operación y mantenimiento, generando pérdidas económicas por sobrecostos en este rubro o pérdida de clientes a causa de fallas o paradas inesperadas, que impiden cumplir los compromisos adquiridos con los clientes, la finalidad de este proyecto es establecer una política de reemplazo y un punto óptimo en el cual, se reemplaza el equipo por uno nuevo de iguales características o de mejor tecnología.

Para el desarrollo de este proyecto se contó con el apoyo de Anescol, empresa dedicada al desarrollo de obras civiles de estabilización estructural y movimiento de tierras, esta organización

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

santandereana ha tenido un crecimiento importante en la región, cuenta con maquinaria pesada que le permite el desarrollo de su actividad, la particularidad de esta organización es que muchos de estos equipos tienen varios años de antigüedad. El ejercicio desarrollado en esta compañía permitió realizar un tamizaje y caracterización de sus activos fijos y por medio del diagnóstico realizado, se determinará un equipo para aplicar el modelo de reemplazo, el cual será seleccionado con base en los siguientes factores: El equipo que genere mayores costos de mantenimiento y operación, mayor tiempo de servicio dentro de la organización, mayor estado de criticidad y altos costos derivados de paradas no programadas, los resultados de este ejercicio permitirá la formulación de una política de reemplazo óptima para la empresa.

Tabla 1.

Cumplimiento de objetivos

OBJETIVO	CUMPLIMIENTO
Revisión de la literatura, consultando diferentes modelos de reemplazo para lograr determinar cuál es el indicado a aplicar en la empresa.	Capítulo 5
Realizar una inspección y diagnóstico detallado de la maquinaria y equipos de la empresa en el cual se evalúen factores como criticidad, obsolescencia, costos de mantenimiento, para determinar el equipo con mayores costos de parada de equipo y mirar el estado del equipo y sus partes eléctricas, hidráulicas y mecánicas.	Capítulo 7
Definir un modelo de reemplazo de equipos, maquinaria y vehículos para la empresa Anescol S.A.S.	Numeral 5.2.15

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Aplicar el modelo de reemplazo al equipo más relevante de la empresa, derivado del resultado del diagnóstico.

Numeral 8.5

Presentar una propuesta de la política de reemplazo para la maquinaria pesada en la empresa Anescol S.A.S.

Numeral 8.5.1

Diseñar indicadores para el seguimiento y control de la propuesta de reemplazo de la maquinaria.

Capítulo 9

1. Planteamiento del Problema

Anescol realiza obras de geotecnia: pilotes, micropilotes, anclajes activos, anclajes pasivos, pantallas ancladas, concreto lanzado, mallas de retención, muros de concreto, obras de drenaje, monitoreó geotécnico y movimiento de tierras. La empresa se constituyó el 24 de marzo del 2011, siendo una de las principales empresas en prestar servicios de anclajes y estabilizaciones en el departamento de Santander.

Su crecimiento se está afianzando a través del tiempo y el reconocimiento a nivel nacional es el objetivo primordial para esta organización, la visión de Anescol es ampliar su rango de operaciones a nivel nacional para consolidarse como líder en estabilizaciones de taludes, refuerzo estructural, movimiento y conformación de suelos, manteniendo altos estándares de calidad, seguridad y medio ambiente, con recurso humano idóneo bien capacitado.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Al aumentar el número de contratos y licitaciones la compañía reconoce la necesidad de tener maquinaria en buen estado y disponible, para satisfacer los requerimientos de los clientes y alcanzar eficiencia en su operación, por esta razón se plantea un modelo de reemplazo para su maquinaria o equipo, el cual se cambiará por uno nuevo o de mejores condiciones tecnológicas.

La empresa cuenta con un total de 41 equipos y maquinaria, 8 equipos menores y 33 equipos importantes de mayor jerarquía y valor como las perforadoras Piloteadora Soilmec SR-30, Beretta T 46, FL 140, Mustang A65C entre otros equipos, compresores Mayco C-30 HDZ, equipos de tensionamiento Enerpac 6DA1, minicargadores Case 1845G, bombas de inyección Been Royal BW-150 y equipos menores como bomba de agua, motobomba de 4" y planta eléctrica.

Al no realizar un seguimiento adecuado a los equipos y no hacer un diagnóstico preciso de los mismos han presentado dificultades para la prestación de sus servicios, pues no están controlando los costos de mantenimiento, operación y mano de obra, esta situación pone en desventaja a la empresa frente a sus competidores, pues se crea el riesgo de llegar a tener retrasos en la producción y el avance en obras de la empresa para cumplir con los requerimientos de los clientes. Al tener equipos en mantenimiento en el taller, se pierde la disponibilidad de los mismo, y la solución a este problema es alquilando equipos que puedan cumplir las mismas funciones, aumentando los costos de operación para la ejecución de la obra y como consecuencia directa afecta su utilidad pues la empresa incurre en costos de oportunidad muy elevados por este tipo de eventos.

La empresa cambia constantemente de lugar su maquinaria y equipos, al no contar con una codificación se hace recurrente el error de hacer una mala asignación de los costos de operación y de mantenimiento para cada una de las máquinas, uno de los problemas que se evidencia es el alto porcentaje de parada de los equipos, debido a los años de funcionamiento, o al constante

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

mantenimiento correctivo que debe realizarse, esto conlleva a un incremento de los costos de oportunidad, dinero que no ingresa a la empresa porque el equipo se encuentra en mantenimiento.

Al no conocer la operación de cada uno de los equipos y no tener una política para el reemplazo de estos mismos, puede ocasionar una disminución de liquidez ya que la mayoría de sus recursos deben causarse para mantener en funcionamiento estos equipos, por otro lado, si se llega a dar el reemplazo apresurado sin tener datos precisos o sin contar los costos de mantenimiento, operación, repuestos entre otros, el reemplazo anticipado de la maquinaria podría causar pérdidas económicas. Esto sucede porque el aumento de los costos de mantenimiento, operación, costo por parada de equipo y costo de producción, tienden a aumentar a medida que van pasando los años al equipo y haciendo un análisis detallado, podrían llegar a igualar el valor inicial de adquirir un equipo de mayor tecnología, o del mismo tipo, o de segunda mano, pero en mejores condiciones, por lo tanto, se requiere una política óptima para el reemplazo del equipo o maquinaria. En este caso particular Anescol no cuenta con una política para el reemplazo de equipos o maquinaria pesada.

2. Justificación del Proyecto

Teniendo en cuenta la participación de Anescol en el mercado comparando su actividad económica con la de otras empresas que prestan el mismo servicio y haciendo una revisión de su trayectoria como empresa desde el año 2011 hasta el momento actual, ha tenido un crecimiento significativo no solo a nivel organizacional, también el incremento de proyectos y clientes a los cuales le presta

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

sus servicios, razón por la cual debe tener toda la maquinaria disponible y en óptimas condiciones para poder cumplir con los compromisos adquiridos con los clientes.

Razón por lo cual se hace necesario identificar cuáles maquinas o equipos son los que tienen mayores costos de operación y mantenimiento, equipos con mayor tiempo de paradas ocasionando que la empresa tenga que recurrir al alquiler de maquinaria para suplir esos faltantes, por esto se propone implementar un modelo de reemplazo para el equipo y maquinaria en la empresa Anescol, el cual facilite a la organización contar con una herramienta que le permita hacer una mejor toma de decisión para definir si es mejor cambiar el equipo que se encuentra en operación o esperar unos años más para hacer el cambio de equipo o maquinaria.

Para cumplir con el desarrollo de este proyecto, se hace necesario determinar el equipo al cual se le va a aplicar el modelo de reemplazo; teniendo en cuenta las siguientes variables, los costos de operación y costos de mantenimiento, costos generados por la obsolescencia debido a su antigüedad y valor inicial de compra, estas variables indicarán el punto óptimo donde es viable reemplazar el equipo por uno nuevo que seguir trabajando con el equipo antiguo.

Para determinar cuál es el equipo al que se le va a aplicar el modelo de reemplazo y servirá de base para crear la política de reemplazo de maquinaria y equipo para la empresa Anescol se debe llevar a cabo un estudio en el cual debe evaluar los costos de operación y mantenimiento, costo de parada de la máquina, mantenimiento excesivo por mayor tiempo en uso, por antigüedad (obsolescencia). La empresa tiene varios equipos con muchos años de trabajo, entre los que se encuentran la Mustang AC 65 con 25 años, el minicargador Case con 24 años, las perforadoras casa grande M3 y C6 con 17 y 16 años entre otros; con el tiempo el equipo se va volviendo obsoleto, por lo que la empresa está en desventaja frente a otras empresas competidoras que poseen maquinas más modernas y eficientes.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Establecer una política de reemplazo de maquinaria y equipos para la empresa Anescol que permita su operación eficiente.

3.2. Objetivos específicos

- Revisión de la literatura, consultando diferentes modelos de reemplazo para lograr determinar cuál es el indicado a aplicar en la empresa.
- Realizar una inspección y diagnóstico detallado de la maquinaria y equipos de la empresa en el cual se evalúen factores como criticidad, obsolescencia, costos de mantenimiento, para determinar el equipo con mayores costos de parada y mirar el estado del mismo y sus partes eléctricas, hidráulicas y mecánicas.
- Definir un modelo de reemplazo de equipos, maquinaria y vehículos para la empresa Anescol.
- Aplicar el modelo de reemplazo al equipo más relevante de la empresa, derivado del resultado del diagnóstico.
- Presentar una propuesta de la política de reemplazo para la maquinaria pesada en la empresa Anescol.
- Diseñar indicadores para el seguimiento y control de la propuesta de reemplazo de la maquinaria.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

4. Generalidades de la empresa Anescol S.A.S.

4.1. Razón social.

Ingeniería de Anclajes y Estabilizaciones de Colombia se encuentra registrada en cámara de comercio de Bucaramanga con NTI 900423263-0, su representante legal Ingeniero Jorge Luis Ardila León.

4.2. Localización.

La oficina se encuentra ubicada en la dirección carrera 33 No. 49 – 35, oficina 201, cabecera II etapa, Bucaramanga, Santander- Colombia.

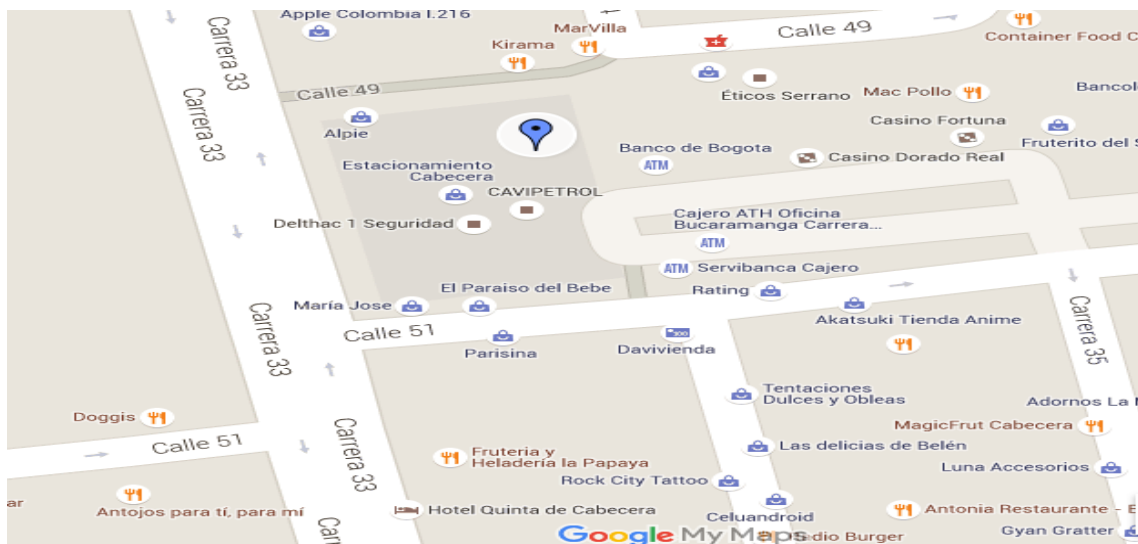


Figura 1. Localización de la empresa Anescol. Ingeniería de Anclajes y Estabilizaciones de Colombia S.A.S (2018).

Recuperado de <http://www.anescol.com/>

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

4.3. Objeto social.

La empresa tiene como objeto social la prestación de servicios en estabilización de taludes, reforzamiento estructural, movimiento y conformación de suelos.

4.4. Misión.

Anescol es una empresa especializada en la estabilización de taludes, reforzamiento estructural, movimiento y conformación de suelos, nuestra misión es satisfacer las necesidades del mercado de la construcción mediante una permanente evaluación y mejoramiento de los procesos, utilizando materiales e insumos de las más alta calidad, apoyándonos en equipo de última tecnología y recurso humano altamente capacitado a fin de brindar excelentes servicios con altos estándares de calidad, ambiental, seguridad y salud ocupacional bajo las normas ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001 (ANESCOL S.AS., 2018).

4.5. Visión.

Para el 2020, Anescol busca ampliar sus operaciones a nivel nacional y consolidarse como una empresa líder en la estabilización de taludes, reforzamiento estructural, movimiento y conformación de suelos y la construcción de obras civiles, manteniendo los más altos estándares de calidad, seguridad y medio ambiente, con el equipo humano idóneo e innovador con que contamos (ANESCOL S.AS., 2018).

4.6. Política de calidad.

La gerencia de Anescol está comprometida en suministrar servicios de estabilización de taludes, reforzamiento estructural, movimiento y conformación de suelos y la construcción de obras

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

civiles cumpliendo los requisitos legales y normativos exigidos por el cliente, para tal fin la gerencia asignará los recursos humanos, físicos, técnicos y económicos con el fin de documentar, implementar, mantener y mejorar continuamente el sistema de gestión de calidad (ANESCOL S.A.S., 2018).

4.7. Política de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente “HSE”.

Es prioridad de la gerencia de Anescol cumplir con los requisitos legales aplicables y otros requisitos que suscriba la organización en materia de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente buscando siempre el compromiso de mejoramiento continuo del desempeño de sistema de gestión integral (ANESCOL S.A.S., 2018).

4.8. Portafolio de servicios

La empresa se dedica a la prestación de servicios como anclajes, drenes y micropilotes, concreto lanzado, pernos y gaviones.

- Anclajes

Anclajes activos

- ✓ Temporales (tiebacks)
- ✓ Permanentes (vida útil del proyecto)

Anclajes pasivos

- ✓ Pernos

En esencia, los anclajes son elementos que trabajan a tracción, con los cuales se trata de mejorar las condiciones de equilibrio de una estructura o de un talud.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA



Figura 2. Anclajes activos. Anescol S.A.S. (2018). Recuperado de <http://www.anescol.com/>

- Drenajes



Figura 3. Drenes. Anescol S.A.S. (2018). Recuperado de <http://www.anescol.com/>

El objetivo de los drenajes es evacuar los excesos de agua en el suelo, de esta manera permite mejorar las condiciones de estabilidad, ya que con el mismo principio se aumenta el coeficiente de fricción y se reduce la presión intersticial o de poro en el suelo.

- Micropilotes

Los micropilotes son elementos generalmente de sección circular de pequeño diámetro que van de 4" a 8" y profundidades hasta de 50 ml que son capaces de transmitir las cargas de una estructura

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

al terreno, mediante esfuerzos de compresión, en ocasiones de flexión y cortante e incluso de tracción.

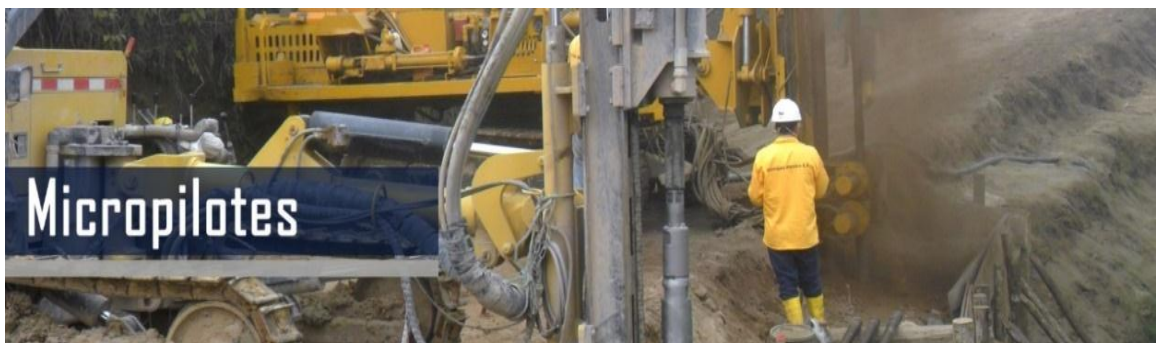


Figura 4. Micropilotes. Anescol S.A.S. (2018). Recuperado de <http://www.anescol.com/>

- Concreto lanzando

Es un mortero o concreto que es lanzado a altas velocidades en forma neumática sobre una superficie, que puede ser concreto, piedra, terreno natural, mampostería, acero y madera.



Figura 5. Concreto lanzado. Anescol S.A.S. (2018). Recuperado de <http://www.anescol.com/>

- Pernos

Este procedimiento consiste en perforar el talud a diámetros variables según diseño, y a profundidades entre 3 y 12 metros para introducir acero, una vez instalada se procede a inyectar la lechada (mezcla cemento-agua)

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA



Figura 6. Pernos. Anescol S.A.S. (2018). Recuperado de <http://www.anescol.com/>

- Gaviones

Presentación de rollos de malla hexagonal de “triple torsión” fabricada con alambre galvanizado



Figura 7. Gaviones. Anescol S.A.S. (2018). Recuperado de <http://www.anescol.com/>

4.9. Maquinaria y equipos Anescol

La empresa Anescol cuenta con la maquinaria, equipos y vehículos indicados para asumir con responsabilidad obras de diferentes magnitudes, donde su ventaja competitiva son los equipos y maquinaria propia. A continuación, se observan los equipos más representativos de la empresa.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

EQUIPO DE PERFORACIÓN

Berreta T-46

Datos técnicos:

Año: 2013
Peso: 4,7 ton
Diámetro perf: 3.5"-12"
Unidades disp: 1



Figura 8. Perforadora Berreta T-46.

Mustang A65C

Datos técnicos:

Año: 1993
Peso: 11 ton
Diámetro perf: 3.5"-12"
Unidades disp: 1



Figura 9. Perforadora Mustang A65C.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Zhejiang Kaizan FL 140

Datos técnicos:

Año: 2012
Peso: 6.5 ton
Diámetro perf: 3.5"-10"
Unidades disp: 1



Figura 10. Perforadora Zhejiang FL 140.

Coster QKY70

Datos técnicos:

Año: 2011. *Adaptado de <http://www.anescol.com/>*
Peso: 0.3 ton
Diámetro perf: 3.5"- 4.5"
Unidades disp: 4



Figura 11. Cotser QKY70.

Unidad Hidráulica D250

Datos técnicos:

Año: 2015
Peso: 0.3 ton
Diámetro perf: 3.5"- 6"
Unidades disp: 1



Figura 12. Unidad hidráulica D250.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Furukawa HCR9-E

Datos técnicos:

Año: 2015
Peso: 0.3 ton
Diámetro perf: 3.5"- 6"
Unidades disp: 1



Figura 13. Furukawa.

Soilmec SR-30

Datos técnicos:

Año: 2008
Peso: 35 ton
Diámetro perf: 0.45 m- 1.2 m
Unidades disp: 1



Figura 14. Soilmec SR-30.

EQUIPO COMPRESORES Compresor IR 375 HP-XP

Datos técnicos:

Año: 2008
Peso: 2 ton
Caudal max: 375scfm
Unidades disp: 4



Figura 15. Compresor IR 375 HP-X.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Compresor Kaeser 375 M100

Datos técnicos:

Año: 2008
Peso: 2.2 ton
Caudal max: 375scfm
Unidades disp: 2



Figura 16. Compresor Kaeser 375 M100.

Compresor Sulliar 425

Datos técnicos:

Año: 2008
Peso: 2.2 ton
Caudal max: 425scfm
Unidades disp: 2



Figura 17. Compresor sulliar 425.

Bomba de inyección Been Royal BW 150

Datos técnicos:

Año: 2011- 2015
Peso: 0.3 ton
Bombeo max: 800 Psi
Unidades disp: 4



Figura 18. Bomba de inyección Been Royal BW 150.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Bomba de lanzamiento de concreto P 305 Schwing

Datos técnicos:

Año: 2006
Peso: 2 ton
Bombeo max: 12 m³/h
Unidades disp: 1



Figura 19. Bomba de lanzamiento de concreto P 305 Schwing.

Bomba Furetto GP- DS 01

Datos técnicos:

Año: 2010
Peso: 0.1 ton
Peso máx: 200 Psi
Unidades disp: 1



Figura 20. Bomba Furetto GP-DS 01.

EQUIPO DE TENSIONAMIENTO

Enerpac 6DA1

Datos técnicos:

Año: 2012
Línea: Hidráulico
Capacidad: 30 ton
Unidades disp: 2




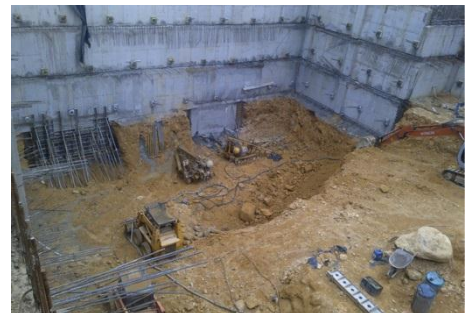

Figura 21. Enerpac 6DA1.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

4.10. Obras elaboradas por la empresa Anescol

La empresa cuenta con gran experiencia en obras de edificación e infraestructura le permiten ofrecer una amplia gama de soluciones geotécnicas a tres principales problemas que se presentan, estabilización y contención de taludes, cimentaciones profundas, movimiento y conformación de tierras; En la tabla 2 se encuentran los proyectos más representativos elaboradas por la empresa Anescol.

Tabla 2.
Obras representativas elaboradas por la empresa Anescol

NOMBRE DE LA OBRA	CLIENTE	ELEMENTO	CANTIDAD	IMAGEN
Adecuación derecho de vía	Morelco	Anclajes	5000 ml	
		Micropilotes	4000 ml	
		drenes	1200 ml	
Balcones de Vizcaya	Inverfutura	Anclajes	3400 ml	
Casa a la medida		Microplotes	2047 ml	
		Movimiento de tierras	12497 m3	

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Club lomas del viento Constructora Herad Pernos 195 ml



Condominio Palmar 37 Alianza Cymer Herad s.a.s Anclajes 1792 ml



Condominio Ruitoque Condominio Ruitoque Pernos 1700 ml
Drenes 300 ml



Diamanti Consuegra santos Anclajes 1250 ml
Micropilotes 770 ml



Edificio opus Diseñar Anclajes 2186 ml



MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Edificio paseo de las Américas	Rodar construcciones	Anclajes	4500 ml
		Movimiento de tierras	1800 m3



Nota: Datos obtenidos de la página web de la empresa Anescol

5. Marco de referencia

5.1. Marco de antecedentes

De la investigación en las bases de datos de la Universidad Industrial de Santander, se encontró un proyecto de grado de título Diagnóstico de maquinaria pesada, equipo menor y vehículos de transporte para el desarrollo de un plan de mantenimiento en la constructora VC Ltda. realizado por (Plata, 2009). La constructora VC Ltda. Es una organización de ingeniería civil, eléctrica, mecánica y ambiental, se encarga de proyectos tales como movimiento de tierras, geotecnia, terraplenes, alcantarillados, acueductos. Este proyecto consistió en un detallado inventario de la maquinaria, equipos menores y vehículos de transporte de la empresa constructora VC Ltda., seguido de una codificación de maquinaria, asignando una nomenclatura a cada equipo, por medio del cual se puede ubicar fácilmente el equipo, luego se realizó una lista de chequeo, entrevistas, inspecciones y diagnóstico a la maquinaria pesada, equipos menores y vehículos de transporte, donde se evalúa el estado actual de todos los equipos por medio del análisis de criticidad, luego de todas las etapas anteriores se realiza un mantenimiento para los equipos que tiene la empresa, entre los aportes destacados de este trabajo de grado es la codificación de la maquinaria, el análisis de criticidad de los equipos y la realización de una matriz de criticidad.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Salgado (2004) llevó a cabo la tesis de grado análisis y modelos de reemplazo, la tesis de grado consiste en desarrollar diversos métodos para la predicción del cálculo de la vida económica de un activo, por medio del cual se puede determinar el momento óptimo para su reemplazo, ya sea por un activo de mayor tecnología o por un activo de la misma referencia y serie al que se pretende reemplazar. La tesis hace referencia a los factores en los cuales se debe basar un reemplazo de activos, así como las condiciones para determinar la vida económica de servicio de un activo, es decir calcular el periodo de vida útil que minimiza el costo anual equivalente. Entre los aportes de la tesis en mención se destaca el análisis de las causas que originan la necesidad de una estimación de reemplazo de activos, los modelos determinísticos para calcular la vida económica del servicio del activo, costos de operación y costos de mantenimiento.

En la Universidad de el Salvador Fuentes et al., (2013) realizaron un trabajo de grado llamado estudio de reemplazo de activos y análisis de alternativas de financiamiento para empresas dedicadas a la extracción de aceites esenciales, la tesis tiene como objetivo dar a conocer la importancia de efectuar un estudio financiero antes de reemplazar al equipo que está en uso. Los resultados de realizar el proyecto de inversión dependen del momento óptimo de realizar el reemplazo del equipo que al aumentar su tiempo de uso, aumentan sus costos de operaciones y los costos de mantenimiento. Entre los aportes de la tesis menciona las causas principales que originan la necesidad de un reemplazo las cuales son: insuficiencia en su desempeño, el equipo no tiene la capacidad requerida para prestar los servicios que se esperan de él, mantenimiento excesivo, eficiencia decreciente, obsolescencia por mejores modelos en el mercado y antigüedad; “la técnica de confrontación actual-nueva para reemplazo” esta se plantea para tomar una decisión de reemplazar o no una maquina o equipo, la cual consiste en analizar las ventajas o prestaciones de

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

un activo actualmente en uso y compararlo con las ventajas que ofrece un nuevo activo que lo pueda reemplazar.

5.2. Marco teórico

5.2.1. Modelo de reemplazo de equipo. Los equipos y máquinas que tienen un funcionamiento continuo y trabajan todos los días, (Taha, 2012) afirma los equipos incurren en un alto costo mantenimiento y pueden ser sustituidas o reemplazadas después de cierto número de años de servicio. Para reemplazar dichos equipos es importante conocer sus costos de operación y costos de mantenimiento, su precio de adquisición y su valor de salvamento o de reventa para analizar las diferentes opciones que pueden existir al llegar su tiempo de uso y se pretenda reemplazar cualquier equipo. (Kaufmann, 1961) afirma “Seleccionar una política de reemplazo de equipos o asegurar su mantenimiento, es en general una cosa muy delicada. A veces puede bastar una gran experiencia para obtener resultados aceptables, pero a menudo la intuición también puede conducir a estimaciones incorrectas” (p.243).

Los modelos de reemplazo tienen varias variables como la depreciación del equipo, la cual es la función de costo decreciente, la función de costo creciente es la disminución de la eficiencia a causa del tiempo de servicio o del desgaste y el costo mínimo se obtiene sumando ambos términos y determinando el costo mínimo total, Shamblin(1975).

Además de los costos de operación, existen los costos de capital por la compra de la máquina o equipo. Estos últimos se pueden expresar como costos promedio por mes, y el costo mensual promedio disminuirá mientras más se posponga un reemplazo. Sin embargo, llega un punto en el

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

cual la rapidez del aumento de los costos de operación compensa con creces los ahorros en costos promedio de capital. En este punto se justifica el reemplazo (Sasiene & Yaspan, 1967, p. 118).

5.2.2. Necesidad de reemplazo de equipo o maquinaria. El equipo o la maquinaria con el tiempo se deteriora y es inevitable la decisión respecto a la necesidad de su reemplazo, Shamblin (1974) refiere que la “necesidad puede ser ocasionada por una pérdida de eficiencia que conduce a un deterioro económico”(p.100). Lo cual indica que, en algún momento del tiempo de servicio existe un punto de reemplazo óptimo determinado por el comportamiento entre las funciones de costos crecientes y decrecientes. Se puede formular esta relación en donde la función de costo decreciente es la depreciación del equipo original, esto plantea una situación en la cual no se hace necesario el remplazo del equipo pues a través del tiempo se hace la distribución del capital y en otros términos sería una disminución de los costos promedio. Según Shamblin (1974) si se tiene en cuenta que “la función costo creciente es la disminución de la eficiencia a causa del tiempo de servicio o del desgaste” (p.100), y los costos de operación y mantenimiento que se incrementan haciendo deseable el remplazo de la máquina.

5.2.3. Problema de reemplazo de equipo o maquinaria. La gran mayoría de los equipos que se utilizan en las empresas, sin importar cuál sea su actividad económica es decir si se dedican a la producción o la prestación de servicios, en algún momento en su operación afrontan este problema. Para ser más específico se cita un ejemplo, en una empresa que pertenezca al sector de la construcción u obras civiles, los equipos, maquinaria y vehículos que se utilizan para desarrollar su actividad se deterioran con el tiempo y uso contante, se presenta el caso que en algunas ocasiones es más costoso conservar el equipo que reemplazarlo.

Por otro lado, los autores Ackoff & Sasiene, (1971) proponen considerar tres tipos de problemas que se deben afrontar al realizar el reemplazo de maquinaria y equipo:

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

El equipo con costos de operación mayor, que a menudo se puede utilizar indefinidamente, pero a un costo que aumenta proporcionalmente a la edad. Equipo que se reemplaza antes que falle completamente, cuya probabilidad de falla aumenta con la edad. La elección de un programa de mantenimiento preventivo, que se diseña para reducir la probabilidad de falla. (p.231).

Dentro de la literatura que hace referencia a este tema, varios autores han planteado diferentes tipos de problemas para afrontar esta particularidad, pues ha sido un tema que interesa a muchos estadísticos industriales y a investigadores operativos. Para tener otro punto de vista se pone en consideración la afirmación de los siguientes autores: Fletcher & Clarke(1966) plantea tres categorías para abordar este caso:

Equipos cuya eficiencia disminuye con la edad y cuya duración puede relacionarse con una función de probabilidad. Los equipos de esta clase no tienen costos importantes de mantenimiento, pero sus averías pueden producir costos. Equipos cuya eficiencia disminuye comparativamente a menor ritmo que la edad, pero llevan asociados crecientes costos de reparaciones y depreciación. Llega un momento en que el remplazo de un equipo viejo es más económico que los continuos costos crecientes de mantenimiento y costos de operación. Equipos cuya probabilidad de avería es muy grande al principio de su vida, después de este periodo la vida del equipo puede continuar por un considerable periodo de tiempo. (p.166)

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

5.2.4. Costos asociados a un problema de reemplazo. En este caso pueden ser muchos los factores asociados a los costos del problema de reemplazar de manera óptima la maquinaria y equipos en una empresa.

El costo de operación de la máquina incluye el consumo de lubricantes, gasolina, impuestos, seguros, etc. Lo primero que se observa es que con el tiempo el costo de operación aumenta, mientras el valor de salvamento disminuye (Prawda, 1995).

El costo de mantenimiento de la máquina incluye mano de obra directa, repuestos, materiales y herramientas y cualquier tipo de reparaciones que se realicen al equipo o máquina.

El costo de inversión del equipo o precio de compra del equipo se asocia al valor inicial de compra del equipo, también es llamado costo del recurso.

Cuando un equipo o máquina tiene daños en su sistema eléctrico o hidráulico y tiene que ingresar al taller para reparaciones incurre en un costo por daños y parada de operación.

Un equipo se deteriora con el paso de los años y puede bajar su rendimiento en producción en ese momento incurre en costos por pérdida de eficiencia.

El costo de obsolescencia se evidencia por el progreso de los avances tecnológicos en el cual se desarrolla la actividad de la empresa, es decir si cada determinado tiempo en años, se introduce al mercado un equipo o máquina con mejores avances tecnológicos.

5.2.5. Modelo de reemplazo de equipos con desgastes determinístico. Partiendo de un análisis hipotético en el cual se conocen todas las variables que pueden existir y que pueden influir en un modelo de reemplazo (Izar, 1998) afirma que estos modelos se pueden utilizar cuando se conocen a cabalidad los costos de mantenimiento, y llevan a la selección del equipo cuyo costo por periodo sea el mínimo. Para determinar estos costos debe tomarse en consideración los valores de

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

adquisición y de rescate de los equipos, también los costos anuales de mantenimiento para cada uno de ellos, ponderándolos por la tasa de interés vigente en los mercados financieros bajo el criterio de cambio del valor del dinero a través del tiempo (p.150)

5.2.6. Modelo de reemplazo de equipos con desgaste aleatorio. En algunas ocasiones no es posible conocer con precisión el desgaste de las máquinas, por esta razón se debe tener como base algunos estudios probabilísticos, como lo afirma (Izar, 1998) “En la mayoría de ocasiones no es posible conocer el desgaste de los equipos y maquinaria en las empresas, por lo general se considera que se da en forma aleatoria o bajo alguna distribución de probabilidad conocida”, (p.155).

5.2.7. Reemplazo ocasionado por el diseño económico. Al utilizar el equipo puede causar un deterioro económico, puede ser ocasionado por muchos factores considerados individualmente o combinados. Los más comunes de estos son:

- Costos crecientes de mantenimiento.
- Costos crecientes de operación.
- Obsolescencia técnica y /o económica.

Los factores, mantenimiento y operación, se consideran en el mismo grupo. Estos son los factores más fáciles de considerar, ya que generalmente, pueden estimarse con un grado razonable de exactitud. (Shamblin, 1974, p. 91)

5.2.8. Costo promedio de operación y mantenimiento. Shamblin (1974) asegura: “El costo promedio de operación y mantenimiento es la cantidad acumulada, gastada en operación y mantenimiento, dividida por el número de periodos de servicio” (p.96).

$$\sum_{i=1}^n (O_i + M_i)/n$$

Donde O_i = costo de operación en el i-ésimo período.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

M_i = costo de mantenimiento en el i -ésimo período.

Por lo tanto, el costo total promedio CTP_n , para n períodos es la suma de estos dos componentes el costo de operación y el costo de mantenimiento.

5.2.9 Modelo que no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo:

$$CTP = \frac{1}{n} [I - T_n + \sum_{i=1}^n (O_i + M_i)]$$

En donde

CTP = costo total promedio, \$/año

I = costo de la inversión en equipo, \$

T_n = valor de reventa al terminar el n -ésimo período

n = vida de servicio del equipo o periodo entre remplazos, años

O_i = costos de operación, \$

M_i = costos de mantenimiento, \$

Shamblin (1974) propone las siguientes reglas para remplazo de equipo para este modelo:

Regla 1. Si la disminución del valor de reventa ($T_n - T_{n+1}$) en el siguiente periodo más el costo de operación y mantenimiento ($(O_{n+1}) + (M_{n+1})$) es mayor que el CTP_n es económico reemplazar.

Regla 2. Si la disminución del valor de reventa más el costo de operación y mantenimiento en el siguiente periodo es menor que el CTP presente, no es económico reemplazar (p.97).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

5.2.10. Modelo de costo anual equivalente (CAE): En este modelo se considera la tasa de interés compuesto por periodo y se realiza el análisis del costo anual equivalente; El modelo “supone que los costos de operación y mantenimiento se tienen en cuenta al final de cada periodo, el costo anual equivalente es el valor presente de todos los costos para n periodos, multiplicados por el factor de recuperación de capital” (Shamblin, 1974, p. 98).

Valor presente para el remplazo después de n periodos = Inversión – valor de reventa descontado + suma de todos los costos de operación y mantenimiento descontados para valor presente.

$$VP(n) = I - \frac{Tn}{(1+i)^n} + \sum_{j=1}^n \frac{Oj + Mj}{(1+i)^j}$$

Donde i la tasa de interés compuesto por periodo.

También se puede determinar el costo anual equivalente:

$$CAEn = \left[I - \frac{Tn}{(1+i)^n} + \sum_{j=1}^n \frac{Oj + Mj}{(1+i)^j} \right] \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

En donde:

CAEn = costo anual equivalente.

I = costo de la inversión del equipo, \$

Tn = valor de reventa al terminar el n -ésimo período

n = vida de servicio del equipo o periodo entre remplazos, años

Oj = costos de operación, \$

Mj = costos de mantenimiento, \$

i = tasa de interés compuesto por período.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Shamblin (1974) propone las siguientes reglas para reemplazo de equipo para este modelo:

Regla 1. Si el costo anual equivalente para n períodos de utilización $CAEn$, es menor que la disminución del valor de reventa descontado más el costo de operación y de mantenimiento para el $(n+1)$ -ésimo período, es económico reemplazar. $CAEn < T_n(1+i) - T_{n+1} + O_{n+1} + M_{n+1}$

Regla 2. Si el costo anual equivalente para $n-1$ períodos de utilización $CAEn-1$, es mayor que la disminución del valor de reventa descontado más el costo de operación y de mantenimiento para el n -ésimo período, no es económico reemplazar. $CAEn > T_{n-1}(1+i) - T_n + O_n + M_n$ (p.99).

5.2.11. Análisis mediante la utilización de funciones continuas. Si las funciones de costos crecientes y decrecientes se suponen continuas el problema se puede optimizar de acuerdo a los métodos normales del cálculo.

Esta técnica es especialmente aplicable en los problemas que consideran predicciones futuras ya que el método de análisis discreto requiere datos que pueden ser disponibles sólo por estimación. Cuando las predicciones de los gastos futuros se pueden aproximar a una función continua, es posible optimizar la ecuación del costo total tomando la derivada con respecto a la variable de decisión y hallando el valor de la variable de decisión que minimice el costo promedio total. Generalmente esta técnica tiene mayor aplicación en los problemas en los cuales puede ignorarse la variación del dinero con el tiempo, o sea, suponiendo que la tasa de interés es igual a cero. Esta suposición permite una decisión que generalmente no involucra un error grande en el costo, y la complejidad matemática disminuye considerablemente (Shamblin, 1974, p. 100).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

5.2.12. Método de estimación de la función que representa el costo promedio de operación y mantenimiento. No siempre se justifica la suposición de que el costo de operación y de mantenimiento aumenta linealmente. En este caso, se sugiere un método diferente de formulación y análisis. Este método estima la función que representa el costo promedio de operación y mantenimiento y supone además que este costo es un producto directo del costo en el primer año y n^k . (Shamblin, 1974, p. 102).

$$CTP = \frac{I}{n} + (Co + Cm)n^k$$

Donde:

K = se selecciona para permitir el mejor ajuste del costo estimado de operación y mantenimiento.

Co = Costo de operación en el primer año.

Cm = Costo de mantenimiento en el primer año.

n = vida de servicio

Este método puede ajustarse mejor a los datos estimados. La vida optima de servicio n^* se determina por procedimientos típicos del cálculo.

$$\frac{d(CTP)}{dn} = -\frac{I}{n^2} + k(Co + Cm)n^{k-1}$$

Despejando n se obtiene:

$$n^* = \left[\frac{I}{k(Co + Cm)} \right]^{1/(k+1)}$$

En donde n^* es la vida optima de servicio, “los valores de k mayores que 1 se utilizan para representar los costos de operación o de mantenimiento, que aumentan con el tiempo con una

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

tasa creciente; los valores menores que 1 representan los costos que aumentan con el tiempo con una tasa decreciente (Shamblin, 1974, p. 102). Esto depende de las propiedades del equipo y del medio ambiente. El incremento del valor de k tiene el efecto de disminuir la vida optima de servicio n^* .

5.2.13. Modelo de costos totales promedio: Costos totales promedio = costo promedio de inversión + costo promedio de operación y mantenimiento.

$$CTP = \frac{I}{n} + \frac{n-1}{2}(O + M) + Co + Cm$$

Donde:

CTP = Costo total promedio, \$/año.

I = Costo de la inversión en equipo, \$.

n = Vida de servicio del equipo o periodo entre remplazos, años.

O = Tasa de aumento del costo de operación por periodo de tiempo, \$/año.

M = Tasa de aumento del costo de mantenimiento por periodo de tiempo, \$/año.

Co = Costo de operación en el primer año de servicio, \$.

Cm = Costo de mantenimiento en el primer año de servicio, \$.

Esto supone que el costo promedio de inversión disminuye según la función hiperbólica $\frac{I}{n}$ y que el costo de operación y mantenimiento aumenta linealmente respecto al tiempo. Para minimizar esta función, se deriva con respecto a n , se iguala a cero y se despeja el valor de n , lo que da lugar al costo promedio mínimo (Shamblin, 1974, p. 100).

$$\frac{d(CTP)}{dn} = -\frac{I}{n^2} + \frac{O + M}{2}$$

Despejando n se obtiene:

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

$$n^* = \left(\frac{2I}{O + M} \right)^{1/2}$$

En donde n^* vida óptima de servicio

El mínimo costo total promedio CTP^* se obtiene sustituyendo la función n^* en la ecuación original del CTP.

$$CTP^* = (2I(M + O))^{1/2} - \frac{O + M}{2} + Co + Cm$$

5.2.14. Reemplazo bajo condiciones de obsolescencia tecnológica y económica. Muchas veces el problema no radica en el estado físico del equipo, puede depender de la aparición de nuevos modelos que traen nueva tecnología y mejores prestaciones, “Es factible reemplazar un equipo que actualmente funciona satisfactoriamente en el sentido mecánico, por un equipo reciente y quizás más costoso. El análisis de este tipo de problemas se simplifica suponiendo que la mejora se efectúa de manera creciente cada año” (Shamblin, 1974, p. 105). Para dar un ejemplo sencillo, la aparición de un nuevo modelo del equipo, implica un deterioro económico considerable de la máquina que se encuentra en operación. En tal caso, quizás el mejor método de comparación sea la evaluación de la conveniencia económica del reemplazo por el modelo más nuevo, empleando los métodos típicos de comparación estudiados en los textos de economía para ingenieros, una forma de abordar este problema consiste en asignar un costo económico al equipo más antiguo debido a la obsolescencia.

Esto conduce a un costo total promedio de operación que puede componerse de tres términos: inversión, operación y mantenimiento y obsolescencia económica. Este último término se compone de la disminución potencial de las economías, ocasionadas por el empleo de un equipo más reciente, como un costo indirecto por continuar con el equipo actual (Shamblin, 1974, p. 105).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

5.2.15. Modelo de Reemplazo bajo condiciones de obsolescencia.

La ecuación del CTP para n años

$$CTPn^* = \frac{I + \sum_{x=1}^{x=n} (Co + Cm)x^k + \sum_{x=1}^{x=n} Co[1 - (\frac{1}{1+r})^{x-1}]}{n}$$

Donde

r = Es la tasa de mejoras tecnológicas por año

Co = Costo de operación en el primer año de servicio, \$

Cm = Costo de mantenimiento en el primer año de servicio, \$

$(Co + Cm)x^k$ Representa el costo real de operación y mantenimiento en el n-ésimo año.

x = Es el i-ésimo periodo o año de operación de la máquina.

k ajuste del costo estimado de operación y mantenimiento

Los valores de k (Shamblin, 1974, p. 103) afirma “mayores que 1 se utilizan para representar los costos de operación y mantenimiento, que aumentan con el tiempo con una tasa creciente; los valores menores que 1 representan los costos que aumentan con el tiempo con una tasa decreciente” (p.103). Esto depende de las propiedades del equipo y del medio ambiente. Si se quiere disminuir la vida optima de servicio n^* se tiene que aumentar el valor de k . r es la tasa de mejoras tecnológicas por año, expresada como una fracción decimal que afecta el termino asociado al costo de operación.

Shamblin (1974) propone las siguientes reglas para reemplazo de equipo para este modelo:

Regla 1. $CTPn^* < (Co + Cm)(n + 1)^k + Co[1 - (\frac{1}{1+r})^n]$ es económico reemplazar

Regla 2. $CTP(n - 1) > (Co + Cm)(n)^k + Co[1 - (\frac{1}{1+r})^{n-1}]$ no es económico reemplazar

(p.106).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

6 Metodología

Fase 1. Revisión de literatura

En esta fase se consulta en base de datos, libros, tesis, revistas, artículos, diferentes modelos matemáticos de investigación de operaciones.

Fase 2. Diagnóstico de la maquinaria y equipos de la empresa.

- ✓ Entrevistas que permitan conocer el punto de vista o criterio de los directivos, ingenieros residentes, operadores y ayudantes con respecto al manejo y al estado actual de los equipos, maquinaria de la empresa y vehículos de la empresa.
- ✓ Revisión de documentos, análisis de formatos, hojas de vida, preoperacionales, entre otros.
- ✓ Entrevista con el personal encargado del mantenimiento de la maquinaria y equipos de la empresa.
- ✓ Realización de inventario de la maquinaria, equipos menores y vehículos de la empresa Anescol S.A.S.
- ✓ Codificación de la maquinaria pesada y equipos menores.
- ✓ Recopilación de la información consultado datos de los diferentes aspectos de los equipos, últimos mantenimientos, reparación, etc.
- ✓ Realización del diagnóstico de la maquinaria y equipos de la empresa por medio de listas de chequeo.
- ✓ Determinación del equipo al cuál se le aplicará el modelo por medio de sus costos de mantenimiento, sus años de uso, su costo de oportunidad.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Fase 3. Análisis de la maquinaria y equipos.

Después del proceso del diagnóstico de la maquinaria y equipos, y de recopilar la información, se llevará a cabo el estudio de criticidad el cual confirmará el equipo al cual se le aplicará el modelo matemático, el análisis de la maquinaria y equipos permite aplicar el modelo de remplazo al equipo más relevante de la empresa, derivado del diagnóstico.

Fase 4. Diseñar y presentar propuesta a la empresa Anescol

En esta fase se define una política de remplazo para el equipo y se presenta la propuesta a gerencia.

Fase 5. Diseñar un sistema de indicadores.

Para establecer un sistema de seguimiento a la operación de los equipos de la empresa, se diseñará un sistema de indicadores que permitirá la evaluación permanente de los costos y la operación de los equipos.

7. Diagnóstico

7.1. Metodología del diagnóstico.

Para realizar el diagnóstico inicial de la empresa Anescol se consultaron varios métodos y se seleccionó la metodología planteada por los autores:

Según Anaya & Polanco (2005) un diagnóstico se orienta en encontrar las causas de los factores internos que afectan los procesos de la empresa. Para poder hacer un diagnóstico adecuado de la situación de la empresa se debe definir una metodología que tiene que seguir el analista para saber identificar las diferentes fases, los datos e información que necesita y los instrumentos de apoyo que le ayudarán a obtener diversas conclusiones.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Las etapas son las siguientes:

Entrevista con el fin de establecer los objetivos del proyecto y recolectar información, se realizan entrevistas con el personal de mantenimiento, los trabajadores que manejan los equipos y maquinaria pesada de la empresa con el fin de establecer o conocer el equipo que lleva más tiempo de funcionamiento en la empresa, el equipo que se le realizan el mayor número de mantenimientos al mes.

Visita a las diversas instalaciones para conocer las generalidades de la organización, visita a la oficina principal, la bodega y las obras principales para conocer el personal administrativo y el personal operativo; La empresa cuenta con 50 empleados directos, los cargos más destacados son gerente, director de obra, dirección comercial, jefe administrativo, coordinador de obras, operador, ayudante de obra, entre otros.

Recogida de datos, en esta etapa se recogen los datos de las facturas en bodega, para hacer un seguimiento a los costos y gastos de cada una de las máquinas y equipos de la empresa.

Selección del equipo al cual se le va a aplicar el modelo de reemplazo: Con los datos obtenidos, se aplica los siguientes criterios de diagnóstico: el equipo que tenga mayores costos de mantenimiento, el equipo que tenga el mayor número de días de parada.

Análisis de la situación, definido el modelo de reemplazo, y definido el equipo resultado del diagnóstico, se presenta la propuesta a la gerencia de la empresa.

Conclusiones e informe final.

7.2. Resultados del diagnóstico.

7.2.1. Inspección y diagnóstico de la maquinaria y equipos de la empresa Anescol

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.1.1. Inventario del equipo y maquinaria de la empresa Anescol. Para realizar el inventario del equipo y maquinaria se verifica los equipos que son propiedad de la empresa, se establece el nombre del equipo, la marca, el estado en que se encuentra, si está operativo o no operativo.

7.2.2. Codificaciones de los equipos en la empresa Anescol S.A.S. Para la codificación de los equipos, maquinaria pesada y vehículos de transporte se estructura de la siguiente manera, un código alfanumérico compuesto por 2 letras y dos dígitos, las dos primeras letras corresponde al tipo de equipo, los dos dígitos corresponden a la numeración interna de los equipos (Plata, 2009). En la tabla 4 se muestra los códigos para la maquinaria.

PE	10
----	----

Donde

PE: Es el tipo de equipo, en este caso la perforadora (PE)

10: Es la numeración interna

Tabla 3

Lista del inventario de los equipos y maquinaria de la empresa Anescol

RELACION EQUIPOS CON NUMERACION INTERNA				
EQUIPO	MARCA	SERIAL	ESTADO	OBSERVACIONES
Compresor # 01	Ingersoll Rand XP375	363677UKPB12	Operativo	
Compresor # 02	Ingersoll Rand XP375	363679UKPB12	Operativo	
Compresor # 03	Ingersoll Rand HP375	372399UEQB11	Operativo	
Compresor # 04	Ingersoll Rand HP375	369776UDQB11	Operativo	
Compresor # 05	Kaesser M100	1145	Operativo	
Unidad Hidráulica # 06	150		Operativo	
Unidad Hidráulica # 07	D250	793039A	Operativo	
Perforadora # 08	FHL 140	KG940A	Operativo	
Perforadora # 09	Atlas Copco / Mustang A65C	OR 882798-564	Operativo	
Perforadora # 10	Bertta T 46	46113	Operativo	
Perforadora # 11	Furukawa HCR9 - E	281008	Operativo	En bodega no se usa
Perforadora # 12	Casa Grande M3	M3DZU0120	No operativo	En reparación
Perforadora # 13	Casa Grande C6	C6ZUO649	No operativo	En reparación

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Piloteadora # 14	Soilmec SR30	138A	Operativo
Track Dril Amarillo # 15	Ingersoll Rand LM100A	T - 2066U8	Operativo
Track Dril Blanco # 16	Ingersoll Rand LM100A	B - 1860014	Operativo
Minicargador # 17	Case 1845G	JAF0143232	Operativo
Minicargador # 18	Bobcat 753	512727501	Operativo
Bomba de inyección # 19	Been Royal / BW 150	2651	Operativo
Bomba de Inyección # 20	Been Royal / BW 150	2654	Operativo
Bomba de inyección # 21	Been Royal / BW 150	O875	Operativo
Bomba de Inyección # 22	Furetto	GP-DS01	Operativo
Bomba de Inyección (Lodos) # 23	American Manufacturing L11	7877	Operativo
Bomba de lanzado de concreto # 24	Schwing P305	171530019	Operativo
Equipo de tensionamiento Rojo # 25	Enerpac / Modelo 6DA1	VM43-LPS C2810C	Operativo
Equipo de tensionamiento Amarillo # 26		ZU4408SB	Operativo
Montacargas # 27	Clark		Operativo
Tanque de aire (Pulmón) Grande # 28			Operativo
Tanque de aire (Pulmón) Mediano # 29			Operativo
Camioneta de estaca # 30	Nissan	TAW 508	Operativo
Camioneta de estaca # 31	Nissan	KJO 736	Operativo
Camión grúa # 32	Jac	TTU 719	Operativo

Tabla 4.
Codificación maquinaria y equipos mayores

EQUIPO	CÓDIGO
Compresor	CO
Unidad hidráulica	UH
Perforadora	PE
Minicargador	MC
Bomba de inyección	BI
Bomba de concreto	BC
Bomba de lodos	BL
Equipo de tensionamiento	ET
Montacargas	MO
Tanque de aire	TA
Camioneta estaca	CE

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.3 Formatos para inspección y diagnóstico de maquinaria pesada, equipos menores y vehículos de transporte. El objetivo de estos formatos es detectar estados o condiciones inadecuadas de los componentes de los equipos, maquinaria y vehículos evitando fallas, inspeccionando los sistemas eléctricos, hidráulicos y mecánicos, motor, estado general, llantas y orugas, al realizar la lista de chequeo se inspecciona el equipo (Plata, 2009), se hace el diagnóstico respectivo para cada equipo, la finalidad de las listas de chequeo es determinar el equipo con mayor desgaste, que necesite más reparaciones, al tener mayor número de reparaciones aumentan los costos de repuestos, mano de obra y mantenimiento, con el fin de determinar el equipo para aplicar el modelo de reemplazo, se establece tres listas de chequeo en general, una para toda la maquinaria pesada o equipos mayores, otra para equipos menores y una para los vehículos de transporte.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA


LISTA DE CHEQUEO MAQUINARIA										
DATOS GENERALES		FECHA:								
MODELO	MARCA	SERIE	N. MOTOR	HOROMETRO	EQUIPO					
OPERADOR		UBICACIÓN			N. INTERNO	OTROS				
1. PARTES ELÉCTRICAS		B	M	F	N.A					
MANÓMETRO										
FUSIBLES										
LÁMPARAS										
STOP										
BATERIA										
SOLENOIDE										
ELEVADORES										
PACHAS										
SWITCH										
INDICADORES DE SERVICIO										
HOROMETRO										
2. ELEMENTOS EXTERNOS		B	M	F	N.A					
VARILLAS MEDIDORAS										
EXTENSIÓN DEL ESCAPE										
SILENCIADOR										
TRAMPA DE AGUA										
TANQUES Y TAPAS										
OJO MEDIDOR TANQUE HIDRÁULICO										
BUJES										
PINES										
PERA										
3. FILTROS Y NIVELES		B	M	F	N.A					
FILTRO DE ACEITE DE MOTOR										
FILTRO DE COMBUSTIBLE										
FILTRO TRAMPA DE COMBUSTIBLE										
ACEITE DE MOTOR DE GIRO										
FILTRO DE AIRE INTERNO										
FILTRO DE AIRE EXTERNO										
FILTRO DEL SISTEMA HIDRÁULICO										
FILTRO DE TRANSMISIÓN										
ACEITES DE MANDOS FINALES										
ACEITES CADENA DE TANDER										
ACEITE ESFERICAS										
4. HERRAMIENTAS		B	M	F	N.A					
DIENTES										
CUCHARÓN										
MARTILLO PERCUTOR										
MARTILLO ROTATIVO										
VALDE										
B=BUENO M=MALO F= FALTA N.A= NO APLICA										
OBSERVACIONES : _____										
OPERADOR		RESPONSABLE				VERIFICÓ				
_____		_____				_____				
5. LLANTAS		B	M	F	N.A					
DELANTERA IZQUIERDA										
DELANTERA DERECHA										
POSTERIOR IZQUIERDA										
POSTERIOR DERECHA										
BASE DE TIRO										
6. ORUGAS		B	M	F	N.A					
RODILLOS SUPERIORES										
RODILLOS INFERIORES										
CADENAS Y ZAPATAS										
GUARDAS DE BASTIDORES										
RESORTE PRINCIPAL										
7. ESTADO GENERAL		B	M	F	N.A					
PINTURA GENERAL										
LATAS DE PISO										
ASIENTOS										
VIDRIOS										
PALANCA DE MANDO										
GATO DE SOPORTE										
ESPEJOS										
CINTURON DE SEGURIDAD										
8. SISTEMA HIDRÁULICO		B	M	F	N.A					
BOMBA HIDRÁULICA										
TANQUE HIDRÁULICO										
CILINDROS HIDRÁULICOS										
CONTROLES DE PRESIÓN										
BUJES										
PINES										
9. OTROS		B	M	F	N.A					
EXTINTOR Y BASE										
ENGRASE DEL EQUIPO										
LUBRICACIÓN DEL EQUIPO										
MANGUERAS HIDRÁULICAS										
ACOPLES										
LLAVES DE PASO										
GATOS DE LEVANTE										
MASTIL										
TUBERÍA DE PERFORACIÓN										

Figura 22. Lista de chequeo maquinaria pesada. Adaptado de Plata (2009).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA


LISTA DE CHEQUEO VEHÍCULOS							
DATOS GENERALES		FECHA:					
PLACA	MARCA	SERIE	N. MOTOR	SERVICIO	TECNICOME		
CONDUCTOR		KILOMETRAJE		N. INTERNO	SOAT. VENCE		
1. REVISIÓN INTERIOR		B	M	F			
LUZ DEL TABLERO							
LUZ DE CABINA							
CINTURONES DE SEGURIDAD							
BLOQUEO DE PUERTAS							
RETROVISOR							
PARASOLES							
RADIO							
BOCINA							
ALARMA							
MANILLA							
2. ELEMENTOS EXTERNOS		B	M	F			
PLUMILLAS							
EXPLORADORAS							
ESPEJOS LATERALES							
LUCES DELANTERAS							
LUCES DIRECCIONALES							
PANORAMICO DELANTERO							
PANORAMICO TRASERO							
VARILLAS MEDIDORAS							
3. FILTROS Y NIVELES		B	M	F			
ACEITE HIDRÁULICO							
ACEITE DE MOTOR							
ACEITE DE CAJA							
LIQUIDO DE FRENOS							
REFRIGERANTE							
AGUA DE PLUMILLAS							
AGUA DE MOTOR							
FILTRO DE COMBUSTIBLE							
FILTRO TRAMPA DE COMBUSTIBLE							
BY PAS DE ACEITE							
FILTRO DE AIRE							
4. REVISIÓN INTERIOR		B	M	F			
ESCAPE							
HOJAS DE MUELLE							
5. EQUIPO DE CARRETERA		B	M	F			
SEÑALES DE CARRETERA							
TACOS							
HERRAMIENTAS							
GATO							
EXTINTOR Y BOTIQUIN							
LAMPARAS							
6. LLANTAS		B	M	F			
DELANTERA IZQUIERDA							
DELANTERA DERECHA							
TRASERA IZQUIERDA							
TRASERA INTERIOR IZQUIERDA							
TRASERA DERECHA							
TRASERA INTERIOR DERECHA							
REPUESTO							
7. MOTOR		B	M	F			
MANGUERAS							
TAPAS							
DEPOSITOS							
BATERIA							
8. FRENOS		B	M	F			
PASTILLAS							
BANDAS							
FRENO DE EMERGENCIA							
9. ESTADO GENERAL		B	M	F			
GUARDA BARROS IZQUIERDO							
GUARDA BARROS DERECHO							
CABINA							
PUERTAS							
CARROCERIA							
DEFENSA							
TAPICERIA							
AIRE ACONDICIONADO							
B=BUENO M=MALO F= FALTA OBSERVACIONES : _____ OPERADOR _____ RESPONSABLE _____ VERIFICÓ _____							

Figura 24. Lista de chequeo de vehículos. Adaptado de Plata (2009).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.4 Inspección y diagnóstico de maquinaria pesada. La lista de chequeo se empleó para el análisis de cada sub-parte, cada una de ella se ponderó según su funcionalidad de la siguiente manera; Bueno, cuando no hay que hacerle ningún ajuste al equipo con un valor de (1), cuando su estado es Regular (0.5), si el estado es Malo y hay que realizarle ajuste y cambiar piezas que están fallando, su valor es (0).

Tabla 5.
Evaluación e inspección de partes de los compresores.

COMPRESOR		CO-01	CO-02	CO-03	CO-04	CO-05	
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO					
1	PARTES ELÉCTRICAS	8,0	6,0	5,0	7,0	8,0	8,0
2	ELEMENTOS EXTERNOS	7,0	6,0	6,0	7,0	5,0	6,0
3	FILTROS Y NIVELES	8,0	7,0	7,0	7,0	6,0	7,0
4	LLANTAS	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
6	SISTEMA HIDRÁULICO	2,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
7	OTROS	5,0	4,0	4,0	5,0	4,0	4,0
	TOTAL	35,0	27,5	26,5	32,5	29,5	31,5
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	78,6	75,7	92,9	84,3	90,0

Tabla 6.
Evaluación e inspección de partes de las unidades hidráulicas.

UNIDAD HIDRÁULICA		UH-06	UH-07	
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO		
1	PARTES ELÉCTRICAS	6,0	5,0	6,0
2	ELEMENTOS EXTERNOS	5,0	5,0	4,0
3	FILTROS Y NIVELES	3,0	3,0	3,0
4	LLANTAS	4,0	3,0	3,0
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	4,0	3,5	3,5
6	SISTEMA HIDRÁULICO	3,0	3,0	2,0
7	OTROS	2,0	1,0	1,0
	TOTAL	27,0	23,5	22,5
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	87,0	83,3

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 7.
Evaluación e inspección de partes de las perforadoras.

PERFORADORAS		PE-08	PE-09	PE-10	PE-11	PE-12	PE-13	PE-14	PE-15	PE-16	
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO									
1	PARTES ELÉCTRICAS	8,0	7,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
2	ELEMENTOS EXTERNOS	7,0	5,0	3,0	4,0	4,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0
3	FILTROS Y NIVELES	8,0	8,0	6,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
4	ORUGA	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6	SISTEMA HIDRÁULICO	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0
7	OTROS	5,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	TOTAL	35,0	26,0	21,0	25,0	25,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	74,3	60,0	71,4	71,4	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3

Tabla 8.
Evaluación e inspección de partes de los minicargadores.

MINICARGADOR		MC-17	MC-18	
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO		
1	PARTES ELÉCTRICAS	6,0	5,0	6,0
2	ELEMENTOS EXTERNOS	5,0	4,0	4,0
3	FILTROS Y NIVELES	3,0	2,0	2,0
4	LLANTAS	4,0	3,0	3,0
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	4,0	3,5	3,5
6	SISTEMA HIDRÁULICO	3,0	2,0	2,0
7	OTROS	2,0	1,0	1,0
	TOTAL	27,0	20,5	21,5
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	75,9	79,6

Tabla 9.
Evaluación e inspección de partes de las bombas de inyección.

BOMBAS DE INYECCIÓN		BI-19	BI-20	BI-21	BI-22	BI-23	
N o	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO					
1	PARTES ELÉCTRICAS	6,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0
2	ELEMENTOS EXTERNOS	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0
3	FILTROS Y NIVELES	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	3,0
4	LLANTAS	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	3,0

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	4,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0
6	SISTEMA HIDRÁULICO	4,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
7	OTROS	4,0	2,0	3,0	4,0	3,0	4,0
	TOTAL	31,0	25,0	27,0	26,0	27,0	26,0
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	80,6	87,1	83,9	87,1	83,9

Tabla 10

Evaluación e inspección de partes de las bombas de concreto.

BOMBAS DE CONCRETO		BC-24	BC-25	
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO		
1	PARTES ELÉCTRICAS	6,0	6,0	
2	ELEMENTOS EXTERNOS	6,0	5,0	
3	FILTROS Y NIVELES	5,0	5,0	
4	LLANTAS	2,0	2,0	
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	5,0	4,0	
6	SISTEMA HIDRÁULICO	4,0	4,0	
7	OTROS	4,0	2,0	
	TOTAL	32,0	28,0	
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	87,5	87,5

Tabla 11.

Evaluación e inspección de partes del equipo de tensionamiento.

EQUIPO DE TENSIONAMIENTO		ET-26	ET-27	
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO		
1	PARTES ELÉCTRICAS	5,0	5,0	
2	ELEMENTOS EXTERNOS	4,0	4,0	
3	FILTROS Y NIVELES	2,0	2,0	
4	MORDAZAS, CUÑAS, PIE DE REY	4,0	3,0	
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	3,0	2,0	
6	SISTEMA HIDRÁULICO	3,0	3,0	
7	OTROS	3,0	3,0	
	TOTAL	24,0	22,0	
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	91,7	91,7

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 12.
Evaluación e inspección de partes del montacargas.

MONTACARGAS		MC-28	
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO	
1	PARTES ELÉCTRICAS	6,0	6,0
2	ELEMENTOS EXTERNOS	6,0	5,0
3	FILTROS Y NIVELES	5,0	5,0
4	LLANTAS	2,0	1,0
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	5,0	4,0
6	SISTEMA HIDRÁULICO	4,0	4,0
7	OTROS	4,0	2,0
	TOTAL	32,0	27,0
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	84,4

Tabla 13.
Evaluación e inspección de partes de los tanques de aire.

TANQUE DE AIRE		TA-29	TA-30
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO	
1	MANGUERAS	4,0	4,0
2	ACOPLES	4,0	4,0
3	LLAVE DE DESCARGA	3,0	3,0
4	VALVULA DE SEGURIDAD	2,0	2,0
5	LATAS Y PINTURA	3,0	2,0
6	OTROS	2,0	2,0
	TOTAL	18,0	17,0
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	94,4

Tabla 14.
Evaluación e inspección de partes de los vehículos de transporte

CAMIONETA DE ESTACA		CM-31	CM-32	CG-33
No	PARTES	PARTES DEL EQUIPO A PUNTO		
1	PARTES ELÉCTRICAS	7,0	7,0	7,0
2	ELEMENTOS EXTERNOS	6,0	4,0	4,0
3	FILTROS Y NIVELES	5,0	5,0	4,0

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

4	LLANTAS	4,0	4,0	4,0	4,0
5	ESTADO GENERAL/LATONERÍA	8,0	5,0	5,0	4,0
6	SISTEMA HIDRÁULICO	6,0	5,0	5,0	5,0
7	OTROS	7,0	4,0	4,0	4,0
	TOTAL	43,0	34,0	34,0	32,0
	% PARTES OK	$\frac{PARTES\ OK}{\# PARTES\ OK} * 100$	79,1	79,1	74,4

7.2.5. Resultado del diagnóstico de las sub-partes del equipo. En la tabla 15 se encuentra el diagnóstico de los equipos realizado en la empresa Anescol, con la codificación correspondiente a cada equipo, el estado y las observaciones, las partes ok (%), se determinó de la evaluación de las sub-partes de cada uno del sistema de los respectivos equipos, se establece el estado del equipo por una ponderación de la siguiente manera: 0-70 % el equipo se encuentra en un estado malo, de 71-80% el equipo se encuentra regular, de 81-90 % el equipo se encuentra en estado bueno y de 91 a 100 % se encuentra en excelente condiciones.

Tabla 15.

Evaluación e inspección de partes de los equipos.

DIAGNOSTICO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA PESADA

CÓDIGO	EQUIPO	OK (%)	ESTADO	OBSERVACIONES
CO-01	Compresor # 01	78,6	REGULAR	Fuga del hidráulico, mal estado de pintura y latonería
CO-02	Compresor # 02	75,7	REGULAR	falla sistema eléctrico, fuga en radiador
CO-03	Compresor # 03	92,2	EXCELENTE	latonería y pintura
CO-04	Compresor # 04	84,3	BUENO	Mal estado de las llantas
CO-05	Compresor # 05	90	EXCELENTE	latonería y pintura
UH-06	Unidad Hidráulica # 06	87	BUENO	latonería y pintura
UH-07	Unidad Hidráulica # 07	83,3	BUENO	latonería y pintura
PE-08	Perforadora # 08	74,3	REGULAR	Fuga del hidráulico, mal estado de pintura y latonería
PE-09	Perforadora # 09	60	MALO	falla sistema eléctrico, hidráulico, latonería y pintura
PE-10	Perforadora # 10	71,4	REGULAR	latonería y pintura, falla motor, fuga de hidráulico
PE-11	Perforadora # 11	71,4	REGULAR	latonería y pintura, falla motor, fuga de hidráulico
PE-12	Perforadora # 12	74,3	REGULAR	En reparación, pintura y latonería
PE-13	Perforadora # 13	74,3	REGULAR	En reparación, pintura y latonería

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

PI-14	Piloteadora # 14	74,3	REGULAR	latonería y pintura
PE-15	Track Dril Amarillo # 15	74,3	REGULAR	latonería y pintura, fuga de hidráulico
PE-16	Track Dril Blanco # 16	74,3	REGULAR	latonería y pintura, falla motor, fuga de hidráulico
MC-17	Minicargador # 17	75,9	REGULAR	latonería y pintura, falla motor
MC-18	Minicargador # 18	79,6	REGULAR	falla sistema eléctrico, fuga en radiador
BI-19	Bomba de inyección # 19	80,6	BUENO	latonería y pintura
BI-20	Bomba de Inyección # 20	87,1	BUENO	latonería y pintura
BI-21	Bomba de inyección # 21	83,9	BUENO	latonería y pintura
BI-22	Bomba de Inyección # 22	87,1	BUENO	latonería y pintura
BL-23	Bomba de Inyección (Lodos) # 23	83,9	BUENO	falla sistema eléctrico, fuga en radiador
BC-24	Bomba de lanzado de concreto # 24	87,5	BUENO	falla sistema eléctrico, fuga en radiador
BC-25	Bomba lanzado de concreto # 25	87,5	BUENO	falla sistema eléctrico, fuga en radiador
ET-26	Equipo de tensión Rojo # 26	91,7	EXCELENTE	latonería y pintura
ET-27	Equipo de tension Amarillo # 27	91,7	EXCELENTE	latonería y pintura
MC-28	Montacargas # 28	84,4	BUENO	latonería y pintura
TA-29	Tanque de aire Grande # 29	94,4	EXCELENTE	latonería y pintura
TA-30	Tanque de aire Mediano # 30	94,4	EXCELENTE	latonería y pintura
CE-31	Camioneta de estaca # 31	79,1	REGULAR	pintura, falla de sistema hidráulico
CE-32	Camioneta de estaca # 32	79,1	REGULAR	pintura, falla de sistema hidráulico
CG-33	Camion grua # 33	74,4	REGULAR	pintura, falla de sistema hidráulico

7.2.6. Estudio de criticidad. El objetivo es identificar componentes que son importantes para el buen funcionamiento del equipo, maquinaria y vehículos, al identificar ayuda a determinar eventos inesperados, como fallas, parada de equipos, y eventualmente accidentes laborales. La definición de criticidad puede tener varias interpretaciones depende del objetivo que necesite jerarquizar. Existe gran diversidad de herramientas de criticidad, según las necesidades y oportunidades de la organización (Plata, 2009, p. 60). Entre los principales criterios para evaluar la criticidad de equipo se tiene:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo).
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción.
- Efecto en la calidad del producto.
- Efectos en la seguridad, ambiente e higiene.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

- Costos de parada y mantenimiento.
- Frecuencia de fallas / confiabilidad.
- Condiciones de operación (temperatura, fluido, caudal, presión, velocidad).
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección y mantenimiento.
- Requerimiento / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos.

7.2.7. Consecuencias. Es la cuantificación de los parámetros analizados que establece la empresa los cuales son: impacto operacional (IO), flexibilidad operacional (FO), costo de mantenimiento (CM), impacto sobre la seguridad y el ambiente (ISA), a los que se les asigna un valor de ponderación y su respectiva calificación ponderada (Plata, 2009, p. 61).

Tabla 16.

Ponderación de criterios

IMPACTO OPERACIONAL (IO)		IMPACTO EN LA SEGURIDAD Y AMBIENTE (ISA)	
TIPO DE IMPACTO	FACTOR DE PONDERACIÓN	TIPO DE IMPACTO	FACTOR DE PONDERACIÓN
Pérdida total de producción y prestación de servicio	10	Afecta la seguridad a los empleados, requiere notificación a entes externos	8
Impacto a niveles de inventarios y calidad	7	Afecta únicamente el ambiente de las instalaciones	7
Parada del sistema o subsistema con repercusiones en otro subsistema	4	Afecta las instalaciones causando daños mayores	5
No genera ningún efecto en producción	1	Provoca daños menores en el ambiente y en la seguridad de la empresa	3
		No genera ningún tipo de daño a personas, instalaciones o ambiente de la empresa	1

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

TIPO DE IMPACTO	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)		COSTOS DE MANTENIMIENTO (CM)	
	FACTOR DE PONDERACIÓN	DE	RANGO DE PARA MANTENIMIENTO	COSTO FACTOR DE PONDERACIÓN
No existe opción de repuesto de producción para reemplazar el equipo	4		Costo mayor o igual a la cantidad de \$ 5.000.000	2
Existe opción de repuesto en bodega para el equipo	2		Costo menor o igual a la cantidad de \$ 5.000.000	1
Existe opción de repuesto disponible	1			

7.2.8. Frecuencia de fallas. Este parámetro indica la cantidad de fallas que presenta una máquina, equipo o vehículo en un intervalo de tiempo definido, este parámetro también es cuantificable y tiene su factor de ponderación, a continuación, en la tabla 17 se indica el rango y los factores de ponderación (Plata, 2009, p. 63).

Tabla 17.
Frecuencia de fallas

Frecuencia de Fallas (FF)	
Rango de falla	Factor de ponderación
Mayor a 2 fallas anuales	4
2 fallas anuales	3
1 falla anual	2
o fallas anuales	1

Nota: Adaptado de Plata (2009)

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.9. Matriz de criticidad. Es una herramienta formada por dos ejes, uno horizontal llamada consecuencias y el vertical llamado frecuencias de fallas, donde los valores correspondientes a cada eje son obtenidos de la ponderación de los criterios de consecuencias y ponderación de frecuencia de fallas, los cuales al ser determinados, permiten ubicar un punto dentro de la matriz, que a su vez se encuentra dividida en tres zona: no critica (NC), medio critica (MC) y critica (C), zonas que establece el tipo de mantenimiento que se debe aplicar al equipo, máquina o vehículo.

Frecuencia	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		Consecuencia				

Figura 25. Matriz de criticidad. Adaptado de Plata (2009)

7.2.10. Nivel de criticidad. Es una valoración cuantitativa para los parámetros no críticos (NC), medio críticos (MC), y críticos (C).

Nivel de criticidad= frecuencia de fallas x consecuencias:

El nivel de criticidad, es el resultado de la frecuencia por el número de consecuencias, dicho valor ubica al equipo dentro de la matriz de criticidad, lo cual ayuda a dar un mantenimiento preventivo a las maquinas o equipos que se ubiquen en zona critica (C) y en la zona medio critica (MC) y un mantenimiento correctivo a las máquinas y equipos ubicados en la zona no critica (NC) (Plata, 2009, p. 64).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.11. Resultados del análisis de criticidad. La metodología del modelo de criticidad por factores ponderados, se aplicó a cada uno de los equipos de la empresa Anescol, los equipos y maquinaria se agruparon en 3 grupos; maquinaria pesada, equipos menores y vehículos de transporte, para la aplicación de este método se utilizó la información registrada en las ordenes de trabajo, hoja de vida de la maquinaria y listas de chequeo (Plata, 2009, p. 65).

7.2.12. Matriz de criticidad de la maquinaria pesada.

En la Figura 26 muestra el estado de criticidad de la maquinaria pesada en la empresa Anescol.

FRECUENCIA	4		PE-09			
	3		PE-11			
	2	UH-06	CO-01; CO-02; CO-04	PE-08		
		UH-07	PE-15; PE-16; MC-17 MC-18	PE-10 PI-14		
	1	PE-12 PE-13	CO-03; CO-05			
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 26. Matriz de criticidad en maquinaria pesada

El análisis de la matriz de criticidad de la maquinaria pesada indica a la **perforadora PE-09, Mustang Atlas Copco**, como el equipo más crítico con un valor crítico de 92, este valor se obtiene de la siguiente manera: $((IO*FO) + (CM+ISA)) *FF = ((4*4) + (2+5)) *4=92$, lo cual indica un seguimiento detallado a la perforadora Mustang, realizando un mantenimiento preventivo, Las perforadoras PE-11 , PE-08 , PE-10 , PE-14, tienen un valor correspondiente 66, 46, 46, y 46 respectivamente y su nivel es medio crítico (MC) y los siguientes equipos se encuentra en un nivel no crítico (NC) CO-01, CO-02, CO-03, CO-04, CO-05, PE-15, PE-16, MC-17, MC -18, a estos equipos se le debe realizar un mantenimiento correctivo.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 18.

Análisis de criticidad en los equipos de la empresa Anescol

CODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN- MODELO	MARCA	FACTOR DE PONDERACION					CONSECUENCIA	CRITICIDAD	NIVEL
			FF	IO	FO	CM	ISA			
CO-01	Compresor # 01	Ingersoll Rand XP375	2	4	2	2	3	13	26	NC
CO-02	Compresor # 02	Ingersoll Rand XP375	2	4	2	2	3	13	26	NC
CO-03	Compresor # 03	Ingersoll Rand HP375	1	4	2	2	3	13	13	NC
CO-04	Compresor # 04	Ingersoll Rand HP375	2	4	2	1	3	12	24	NC
CO-05	Compresor # 05	Kaesser M100	1	4	2	1	3	12	12	NC
UH-06	Unidad Hidraulica # 06	Tipo D150	2	4	1	1	3	8	16	NC
UH-07	Unidad Hidraulica # 07	Tipo D250	2	4	1	2	3	9	18	NC
PE-08	Perforadora # 08	FHL 140	2	4	4	2	5	23	46	MC
PE-09	Perforadora # 09	Atlas Copco / Mustang A65C	4	4	4	2	5	23	92	C
PE-10	Perforadora # 10	Beretta T 46	2	4	4	2	5	23	46	MC
PE-11	Perforadora # 11	Furukawa HCR9 - E	3	4	4	1	5	22	66	MC
PE-12	Perforadora # 12	Casa Grande M3	1	1	4	2	5	11	11	NC
PE-13	Perforadora # 13	Casa Grande C6	1	1	4	2	5	11	11	NC
PI-14	Piloteadora # 14	Soilmec SR30	2	4	4	2	5	23	46	MC
PE-15	Track Dril Amarillo # 15	Ingersoll Rand LM100A	2	4	2	1	3	12	24	NC
PE-16	Track Dril Blanco # 16	Ingersoll Rand LM100A	2	4	2	2	3	13	26	NC
MC-17	Minicargador # 17	Case 1845G	2	4	2	2	3	13	26	NC
MC-18	Minicargador # 18	Bobcat 753	2	4	2	2	3	13	26	NC
BI-19	Bomba de inyeccion # 19	Been Royal / BW 150	2	4	2	1	3	12	24	NC
BI-20	Bomba de inyeccion # 20	Been Royal / BW 150	1	4	2	1	3	12	12	NC
BI-21	Bomba de inyeccion # 21	Been Royal / BW 150	1	4	2	1	3	12	12	NC
BI-22	Bomba de inyeccion # 22	Furetto	1	4	2	1	3	12	12	NC
BL-23	Bomba de inyeccion (Lodos) # 23	American Manufacturing L11	2	4	2	1	3	12	24	NC
BC-24	Bomba de lanzado de concreto # 24	Schwing P305	2	4	2	1	3	12	24	NC
BC-25	Bomba lanzado de concreto # 25	MAYCO C-30HDZ	2	4	2	1	3	12	24	NC
ET-26	Equipo de tension Rojo # 26	Enerpac / Modelo 6DA1	2	4	1	1	3	8	16	NC
ET-27	Equipo de tension Amarillo # 27	Enerpac/Modelo ZU4	2	4	1	1	3	8	16	NC
MO-28	Montacargas # 28	Clark	2	4	2	1	3	12	24	NC
TA-29	Tanque Grande # 29	N. A	1	4	1	1	1	6	6	NC
TA-30	Tanque Mediano # 30	NA.	1	4	1	1	1	6	6	NC
CE-31	Camioneta de estaca # 31	Nissan	2	4	4	2	3	21	42	MC
CE-32	Camioneta de estaca # 32	Nissan	2	4	4	1	3	20	40	MC
CG-33	Camion grua # 33	Jac	2	4	4	1	3	20	40	MC

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.13. Matriz de criticidad de los equipos menores. En la tabla 21 muestra el estado de criticidad de los equipos menores en la empresa Anescol.

FRECUENCIA	4					
	3					
	2	ET-26; ET-27	BI-19; BL-23; BC-24 BC-25; MO-28			
	1	TA-29; TA-30	BI-20; BI-21; BI-22			
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 27. Matriz de criticidad en equipos menores

El análisis de la criticidad en los equipos menores indica que su estado es no crítico (NC), todos los equipos menores se encuentran en buen estado y disponibles, para realizar cualquier tipo de actividad y se le realiza un mantenimiento correctivo.

7.2.14. Matriz de criticidad de los vehículos de transporte. En la tabla 22 muestra el estado de criticidad de los tres vehículos de transporte de la empresa Anescol.

FRECUENCIA	4					
	3					
	2			CE-31; CE-32; CG33		
	1					
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 28. Matriz de criticidad de vehículos

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

El análisis de criticidad indica un estado (MC), medio crítico, para los 3 vehículos de transporte, el cual con un buen mantenimiento correctivo puede solucionar el estado en que se encuentra; En general la empresa Anescol cuenta con equipos y maquinaria disponible y en buen estado.

7.2.15. Determinación del equipo con mayor tiempo en uso o de funcionamiento.

Consultando los manifiestos de importación se verificó la información correspondiente a los años de fabricación de los equipos importantes y de mayor jerarquía, como lo son las perforadoras Beretta t-46, Mustang AC65, FL 140, Soilmec SR 30, compresores IR 375 XP, compresor kaiser 375 M100, bombas de inyección Been royalBW 150, equipos de tensionamiento Enerpac 6DA1, entre otros, en la tabla 19, indica los equipos representativos de la empresa con su año de fabricación y los respectivos años de funcionamiento. La maquinaria con mayor tiempo de funcionamiento es la perforadora Mustang AC65 con 25 años.

Tabla 19.

Año de fabricación y años de funcionamiento de la maquinaria.

Equipo Anescol	Año de fabricación	Años de servicio de los equipos
Mustang AC 65	1993	25
Minicargador Case	1994	24
Casa grande M-3	2001	17
Casa grande C-6	2002	16
Bomba lanzado concreto	2002	16
Compresor IR 375	2006	12
Tamrock	2006	12
B. I. Schwing P-305	2006	12
Soilmec SR-30	2008	10
Compresor IR 375 HP-XP	2008	10
Kaiser 375 M-100	2008	10
Compresor Sulliar 425	2008	10
Been Royal BW 150	2011	7
Enerpac 6DA1	2012	6

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Zhejiang Kaizan FL 140	2012	6
Berreta T 46	2013	5
Furukawa HCR-9	2013	5
Unidad hidráulica D250	2015	3

Nota: Datos tomados del manifiesto de importación.

La perforadora Mustang AC 65 es el equipo con mayor tiempo en uso con 25 años, en segundo lugar, de tiempo en uso es el minicargador case con 24 años, seguido por las perforadoras casa grande M3 con 17 años de funcionamiento, la perforadora casa grande C6 con 16 años en uso y la bomba de lanzado de concreto con 16 años de funcionamiento.

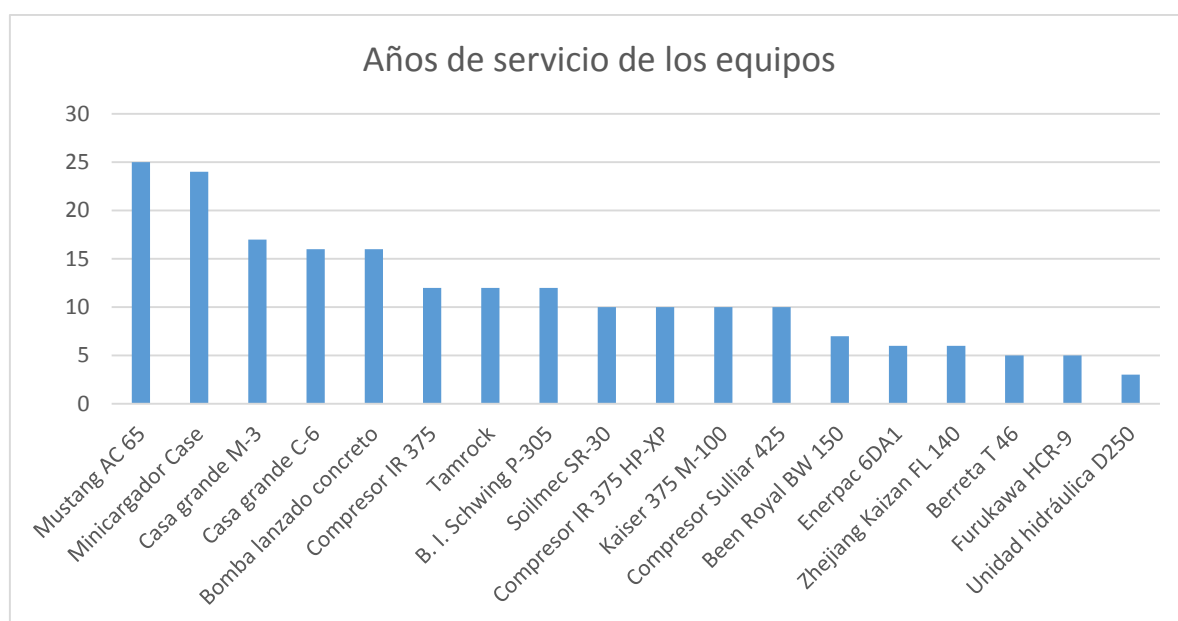


Figura 29. Años de uso de la maquinaria y equipos en Anescol

7.2.16 Determinación de los tiempos de parada de maquinaria, equipos y vehículos. De

acuerdo a la tabla 20 la perforadora Mustang AC 65 es el equipo con mayor número de días en mantenimiento. Si se estima un promedio de 300 días laborables, se establece que un 7%, es decir 20 días en el año el equipo se encuentra en mantenimiento por averías, fallas en el motor, sistema

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

hidráulico, sistema mecánico o fallas en el sistema eléctrico. Seguidamente se encuentra la bomba de lanzado de concreto Mayco con 19 días del año que se encuentra parado por fallas del equipo o en mantenimiento, en tercer lugar, se encuentra la bomba de lanzado de concreto Schiwing P305 con 18 días de parada, o en reparación.

Tabla 20.
Tiempo de parada en equipos.

Equipo Anescol	Porcentaje por año	Días
Mustang AC 65	7%	20
Bomba lanzado concreto	6%	19
B. I. Schwing P-305	6%	18
Furukawa HCR-9	6%	18
Compresor Sulliar 425	6%	17
Soilmec SR-30	5%	16
Been Royal BW 150	5%	14
Compresor IR 375	4%	12
Zhejiang Kaizan FL 140	4%	12
Compresor IR 375 HP-XP	4%	11
Minicargador Case	3%	10
Tamrock	3%	8
Berreta T 46	2%	7
Kaiser 375 M-100	2%	6
Unidad hidráulica D250	1%	4
Enerpac 6DA1	1%	3

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

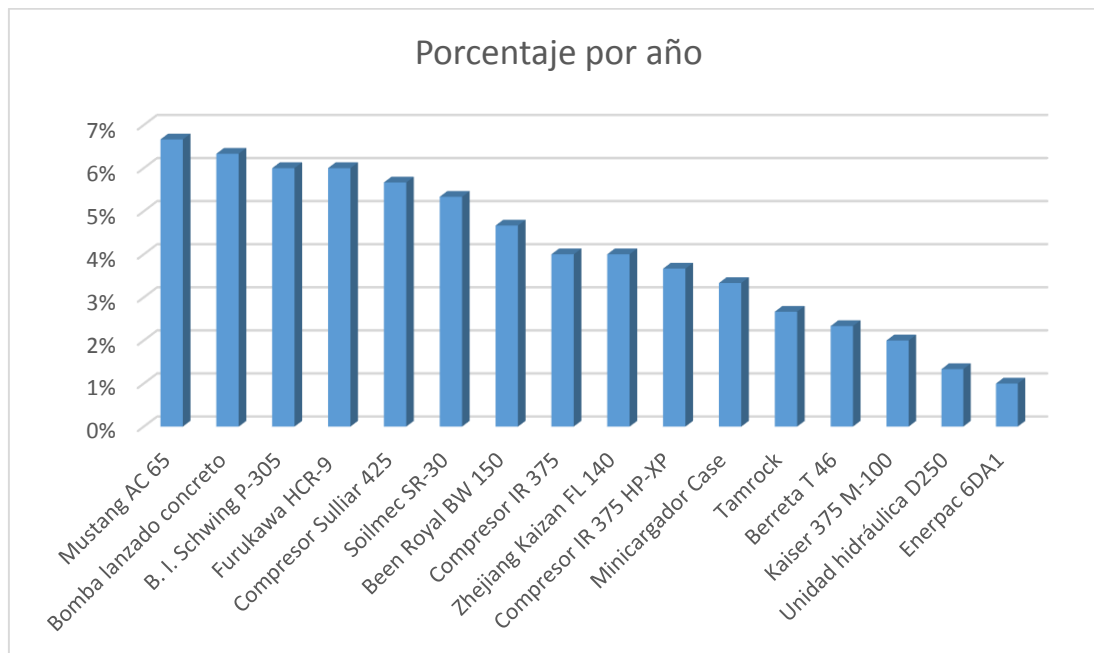


Figura 30. Porcentaje de paradas por equipos anualmente.

7.2.17. Determinación del costo de oportunidad para maquinaria y equipos. Los días que los equipos se encuentran averiados, en reparación o en mantenimiento, son tiempo de parada, tiempos muertos en los cuales la empresa no avanza en la ejecución de las obras y los contratos civiles, por lo tanto, se establece un costo estimado o costo de oportunidad, para esos días en los cuales el equipo no funciona. Dicho costo depende del contrato civil, depende del AIU (administración, imprevistos y utilidades), cada contrato tiene consigo diferentes precios para cada cliente, por política de la empresa no fue posible compartir dicha información, pero se estableció con los ingenieros residentes y el gerente un precio de acuerdo a los costos estimados del alquiler del equipo correspondiente. de esta forma, para los equipos mayores y de perforación se determina un costo de \$ 1.200.000 diario, esto aplica para las perforadoras Berreta T- 46, Mustang AC65, FL 140, Furukawa, Soilmer SR30; un costo estimado diario de \$ 800.000 para los compresores IR 375 HP-XP, Kaeser 375 M100, para las bombas de inyección Been Royal, bombas de lanzado de concreto, equipos de tensionamiento entre otros y un costo estimado de \$ 600.000 para la unidad

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

hidráulica D250, en la tabla 21 se indican estos valores y el costo estimado anual por este concepto para cada uno de los equipos.

De acuerdo a los días de parada, el equipo que causa un mayor costo por tiempo de parada en la tabla 21, es la perforadora Mustang AC 65 y el costo de oportunidad o el dinero que deja de recibir la empresa por año, se estima en \$ 24.000.000, este es un valor preocupante ya que es una cifra considerable para la empresa. En segundo lugar, se encuentra la perforadora Furukawa con un costo de oportunidad de \$21.600.000 y en tercer lugar encuentra la perforadora Soilmec con un valor aproximado de \$19.200.000.

Tabla 21.

Costo de oportunidad anual de los equipos y maquinaria

Equipo Anescol	Días	Costo de oportunidad por día	Costo de oportunidad por año
Mustang AC 65	20	1.200.000	24000000
Furukawa HCR-9	18	1.200.000	21600000
Soilmec SR-30	16	1.200.000	19200000
Bomba lanzado concreto	19	800.000	15200000
Zhejiang Kaizan FL 140	12	1.200.000	14400000
B. I. Schwing P-305	18	800.000	14400000
Compresor Sulliar 425	17	800.000	13600000
Been Royal BW 150	14	800.000	11200000
Tamrock	8	1.200.000	9600000
Compresor IR 375	12	800.000	9600000
Compresor IR 375 HP-XP	11	800.000	8800000
Berreta T 46	7	1.200.000	8400000
Minicargador Case	10	800.000	8000000
Kaiser 375 M-100	6	800.000	4800000
Enerpac 6DA1	3	800.000	2400000
Unidad hidráulica D250	4	600.000	2400000

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA



Figura 31. Costo de oportunidad por año para cada equipo y maquinaria

7.2.18. Costo total de mantenimiento y operación. Para determinar los costos totales se recolectó la información de órdenes de compras, facturas, órdenes de trabajo a talleres de soldadura, mantenimiento, laminación, entre otros, costo de combustible, costos lubricantes, costos de repuestos entre otros; en la tabla 22 se evidencia los costos totales de mantenimiento del equipo y maquinaria.

La perforadora Soilmer SR 30 (PI-14) tiene un costo acumulado de mantenimiento igual a \$ 48.005.125 ocupando el primer lugar de la lista, la perforadora Casagrande C6 (PE-13) con \$ 45.969.705, se encuentra en el segundo lugar con mayores costos acumulados, pero a la perforadora PE-13 se le está haciendo una re-manufacturación y restauración, a diferencia del equipo MustangAC 65 (PE-09) el cual ocupa el tercer lugar en costos acumulados con un total de \$ 39.652.469, en el cuarto lugar se encuentra el minicargador case (MC-17) con un valor de \$29.499.728 y por último se encuentra el compresor Ingersol rand (CO-01) con un valor estimado de \$21.306.796.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

7.2.19. Determinación del equipo al cual se aplicará el modelo de reemplazo. De acuerdo a los resultados del diagnóstico de maquinaria y del análisis de criticidad dio como resultado el equipo de perforación Mustang AC65 (PE-09) el cual tiene un estado de criticidad (C), los costos de mantenimiento y operación de este equipo ocupa un tercer lugar con un valor de \$ 39.652.469, el tiempo de servicio del equipo Mustang AC65 son 25 años; Es el equipo con mayor tiempo de funcionamiento, la perforadora Mustang AC65 (PE-09) ocupa el primer lugar en costos de oportunidad anual con un valor de \$ 24.000.000, del porcentaje anual de paradas la perforadora Mustang AC65 (PE-09) ocupa el primer lugar con un 7% ;el resultado final indica el equipo para aplicar una política de reemplazo es la perforadora Mustang AC65 (PE-09).

Tabla 22.

Costos totales de mantenimiento del equipo y maquinaria.

CODIFICACIÓN	EQUIPO	TOTAL DE MANTENIMIENTO	MANO DE OBRA
CO-01	Compresor Ingersoll rand XP-375 #1	21.306.796	3.455.090
CO-02	Compresor Ingersoll rand XP-375 #2	12.971.079	2.567.800
CO-03	Compresor Ingersoll rand HP-375 #3	10.868.887	2.345.000
CO-04	Compresor Ingersoll rand HP-375 #4	9.782.505	1.458.900
CO-05	Compresor karisser 1145 #5	1.188.460	423.400
UH-06	Unidad hidráulica 150 # 6	5.614.158	845.890
UH-07	Unidad hidráulica D250 #7	10.079.872	985.600
PE-08	Perforadora FL 140 # 8	21.181.318	2.313.400
PE-09	Perforadora -Mustang # 9	39.652.469	5.678.400
PE-10	Perforadora - Beretta # 10	19.948.368	1.567.000
PE-11	Perforadora - Furukawa #11	2.914.308	238.900
PE-12	Perforadora - Casa grande M3 #12	3.186.037	129.000
PE-13	Perforadora - Casa grande C6 #13	45.969.705	2.765.400
PI-14	Piloteadora-Soilmer SR-30 #14	48.005.126	5.678.800
PE-15	Track drill amarillo-Ingersoll rand #15	7.764.612	547.600
PE-16	Track drill blanco-Ingersoll rand #16	10.927.316	1.458.700
MC-17	Minicargador case 1845G #17	29.499.728	2.578.000
MC-18	Minicargador Bocat 753 #18	16.224.473	3.450.000
BI-19	Bomba de inyección- 2651 # 19	8.002.789	656.000
BI-20	Bomba de inyección- 2654 # 20	7.085.609	604.500
BI-21	Bomba de inyección- 0875 # 21	3.610.840	456.000
BI-22	Bomba de inyección- Furetto # 22	3.737.510	505.600
BL-23	Bomba de inyección de lodos #23	606.440	95.000

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

BC-24	Bomba de lanzado de concreto # 24	5.238.506	870.800
BC-25	Bomba de lanzado de concreto # 25	481.800	110.000
ET-26	Equipo de tensionamiento rojo # 26	5.727.870	798.000
ET-27	Equipo de tensionamiento amarillo# 27	464.000	65.000
MO-28	Montacarga clark # 28	1.561.435	345.000
TA-29	Tanque aire pulmón grande # 29	-	
TA-30	Tanque aire pulmón mediano # 30	112.000	20.000
CE-31	Camioneta -TAW-508 # 31	2.256.440	342.000
CE-32	Camioneta -KJO-736 # 32	304.489	50.000
CG-33	Camión Jac- TTU-719 # 33	9.897.212	1.230.000
	EQUIPOS ALQUILADOS		
	Compresor #sulliar	3.198.672	459.000
	Compresor #sull	6.563.503	987.000
	Perforadora Tamrock	14.363.761	2.897.000
	Compresor kaiser 1140	8.574.829	2.435.000
	Compresor kaiser 1151	1.686.142	287.000
	TOTAL	400.559.064	51.699.780

8. Propuesta de Política de Reemplazo para el Equipo Mustang

8.1. Formulación del modelo matemático

Con el fin de presentar una solución óptima al problema de reemplazo de maquinaria pesada, y bajo las condiciones de la empresa ANESCOL S.AS. se presenta el siguiente modelo matemático el cual se ajusta más a sus características, planteando el modelo de reemplazo del equipo bajo condiciones de obsolescencia tecnológica y económica, minimizando los costos operativos y de mantenimiento, los costos de oportunidad que asume la empresa al no tener la máquina disponible o posibles pérdidas económicas al reemplazar una maquina antes del tiempo óptimo.

La ecuación del CTP para n años

$$CTPn^* = \frac{I + \sum_{x=1}^{x=n} (Co + Cm)x^k + \sum_{x=1}^{x=n} Co[1 - (\frac{1}{1+r})^{x-1}]}{n}$$

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Este modelo tiene en cuenta las siguientes variables:

I = Inversión inicial o valor inicial de la máquina.

C_o = Costo de operación en el primer año de servicio, \$

C_m = Costo de mantenimiento en el primer año de servicio, \$

$(C_o + C_m)x^k$ Representa el costo real de operación y mantenimiento en el n-ésimo año.

k = Es el factor de ajuste de los costos de operación y mantenimiento de la máquina y este valor es constante e influye en que tan rápido o tan lento debo cambiar o reemplazar el equipo.

r = Es el factor de mejoras tecnológicas que ha tenido esta máquina o similares que realicen la misma actividad, es un valor constante que determina la obsolescencia o pérdida de eficiencia que va teniendo la maquina a través del tiempo.

Shamblin (1974) propone las siguientes reglas para reemplazo de equipo para este modelo:

Regla 1. $CTPn * < (C_o + C_m)(n + 1)^k + C_o[1 - (\frac{1}{1+r})^n]$ es económico reemplazar

Regla 2. $CTP(n - 1) > (C_o + C_m)(n)^k + C_o[1 - (\frac{1}{1+r})^{n-1}]$ no es económico reemplazar

(p.106).

8.2. Análisis de sensibilidad para determinar los valores de k y de r

k se selecciona para permitir el mejor ajuste del costo estimado de operación y mantenimiento. Los valores de k (Shamblin, 1974, p. 103) afirma “mayores que 1 se utilizan para representar los costos de operación y mantenimiento, que aumentan con el tiempo con una tasa creciente; los valores menores que 1 representan los costos que aumentan con el tiempo con una tasa decreciente” (p.103). Esto depende de las propiedades del equipo y del medio ambiente. Si se quiere disminuir la vida optima de servicio n^* se tiene que aumentar el valor de k .

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

r es la tasa de mejoras tecnológicas por año. Un método de formular este problema consiste en asignar un costo económico al equipo más antiguo a causa de la obsolescencia. Realmente este costo no se causa directamente, sino que es el resultado neto de una disminución de la ganancia potencial, tal como si hubiera sido ocasionada por un costo real. Esto conduce a un costo total promedio que puede componerse de tres términos: inversión, operación y mantenimiento, y obsolescencia económica. Este último término se compone de la disminución potencial de las economías, ocasionadas por el empleo de un equipo más reciente, como un costo indirecto por continuar con el equipo actual (Shamblin, 1975, p. 106).

Para la determinación de los valores de k y r se necesita el modelo de remplazo bajo condiciones de obsolescencia tecnológica y económica y los valores del costo del equipo (inversión) en este caso el equipo es la perforadora Mustang AC65 (PE-09), los costos de operación (C_o) y de costo de mantenimiento (C_m) y se realiza un análisis de sensibilidad en donde pueda encontrar un intervalo de valores óptimos.

Las variables necesarias del modelo son:

- Inversión Inicial (I).
- Costo de Operación (C_o).
- Costo de Mantenimiento (C_m).
- Factor de ajuste para los costos de operación y mantenimiento (k).
- Factor de ajuste para la tasa promedio de mejoras (r).

Los valores para cada una de las variables de la ecuación.

$$I = \$ 200'000.000. \quad C_o = \$ 21'703.812. \quad C_m = \$ 11'268.926$$

El valor de la inversión inicial (I) es \$ 200'000.000, los valores de costos de manteniendo y operación fueron tomados de los registros que se llevan para cada máquina, ver apéndice N, hoja de vida del equipo en este caso la perforadora Mustang A65 (PE-09).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

$$CTPn^* = \frac{I + \sum_{x=1}^{x=n} (Co + Cm)(x)^k + \sum_{x=1}^{x=n} Co[1 - (\frac{1}{1+r})^{x-1}]}{n}$$

Shamblin (1974) propone las para determinar los valores de **k** y de **r** se utiliza el modelo de reemplazo y se asigna valores de **k** entre 0,15 y 1,5 mientras se deja fijo el valor de **r**, los valores de **r** varían entre 0,02 y 0,13 , los valores de **k** mayores que 1 se utiliza para representar los costos de operación y mantenimiento que aumenta con el tiempo con una tasa creciente, lo valores menores que 1 representan los costos que aumentan con el tiempo con una tasa decreciente, al incrementar los valores de **k** disminuye la vida optima de servicio. En la tabla 23 da a conocer los costos totales promedio **CTP** y **n** la cual indica el año de reemplazo de la máquina, variando los valores de **k** entre 0,15 y 1,5 y se deja fijo el valor de **r** 0,02, y así sucesivamente con los valores de **r** entre 0,02 hasta 0,13, de esta manera se analiza el **CTP** con cada **k**, y se conoce el año de reemplazo con cada valor respetivo de **k**.

Tabla 23.

Valores del CTP con r= 0,02

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,02	21703812	11268926	60130199	21
200000000	0,2	0,02	21703812	11268926	65821841	18
200000000	0,25	0,02	21703812	11268926	71648228	15
200000000	0,3	0,02	21703812	11268926	77579181	13
200000000	0,35	0,02	21703812	11268926	83558179	11
200000000	0,4	0,02	21703812	11268926	89638881	10
200000000	0,45	0,02	21703812	11268926	95723859	8
200000000	0,5	0,02	21703812	11268926	101882346	8
200000000	0,6	0,02	21703812	11268926	114147789	6

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

200000000	0,7	0,02	21703812	11268926	126639582	5
200000000	0,9	0,02	21703812	11268926	151962219	4
200000000	1	0,02	21703812	11268926	166007664	3
200000000	1,1	0,02	21703812	11268926	177951597	3
200000000	1,3	0,02	21703812	11268926	206633623	3
200000000	1,5	0,02	21703812	11268926	232508962	2

Tabla 24.

Valores del CTP con $r=0,03$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,03	21703812	11268926	61630759	20
200000000	0,2	0,03	21703812	11268926	67131607	17
200000000	0,25	0,03	21703812	11268926	72786200	14
200000000	0,3	0,03	21703812	11268926	78563055	12
200000000	0,35	0,03	21703812	11268926	84450763	11
200000000	0,4	0,03	21703812	11268926	90382251	9
200000000	0,45	0,03	21703812	11268926	96379608	8
200000000	0,5	0,03	21703812	11268926	102475702	7
200000000	0,6	0,03	21703812	11268926	114631611	6
200000000	0,7	0,03	21703812	11268926	127032986	5
200000000	0,9	0,03	21703812	11268926	152262121	4
200000000	1	0,03	21703812	11268926	166210893	3
200000000	1,1	0,03	21703812	11268926	178154826	3
200000000	1,3	0,03	21703812	11268926	206836852	3
200000000	1,5	0,03	21703812	11268926	232260987	2

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 25.

Valores del CTP con $r= 0,04$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,04	21703812	11268926	62893650	19
200000000	0,2	0,04	21703812	11268926	68254289	16
200000000	0,25	0,04	21703812	11268926	73792804	14
200000000	0,3	0,04	21703812	11268926	79453178	12
200000000	0,35	0,04	21703812	11268926	85233671	10
200000000	0,4	0,04	21703812	11268926	91074234	9
200000000	0,45	0,04	21703812	11268926	96998786	8
200000000	0,5	0,04	21703812	11268926	103018466	7
200000000	0,6	0,04	21703812	11268926	115094209	6
200000000	0,7	0,04	21703812	11268926	127411515	5
200000000	0,9	0,04	21703812	11268926	152552520	4
200000000	1	0,04	21703812	11268926	166408941	3
200000000	1,1	0,04	21703812	11268926	178352874	3
200000000	1,3	0,04	21703812	11268926	207034900	3
200000000	1,5	0,04	21703812	11268926	232713560	2

Tabla 26.

Valores del CTP con $r= 0,05$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,05	21703812	11268926	63981215	18
200000000	0,2	0,05	21703812	11268926	69248585	15
200000000	0,25	0,05	21703812	11268926	74681978	13
200000000	0,3	0,05	21703812	11268926	80274419	12
200000000	0,35	0,05	21703812	11268926	85944493	10
200000000	0,4	0,05	21703812	11268926	91724220	9
200000000	0,45	0,05	21703812	11268926	97583924	8
200000000	0,5	0,05	21703812	11268926	103534536	7
200000000	0,6	0,05	21703812	11268926	115536771	6
200000000	0,7	0,05	21703812	11268926	127775899	5
200000000	0,9	0,05	21703812	11268926	152833818	4
200000000	1	0,05	21703812	11268926	166601991	3
200000000	1,1	0,05	21703812	11268926	178545924	3
200000000	1,3	0,05	21703812	11268926	207227949	3
200000000	1,5	0,05	21703812	11268926	232812937	2

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 27.

Valores del CTP con $r= 0,06$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,06	21703812	11268926	64941978	18
200000000	0,2	0,06	21703812	11268926	70122029	15
200000000	0,25	0,06	21703812	11268926	75482360	13
200000000	0,3	0,06	21703812	11268926	80995581	11
200000000	0,35	0,06	21703812	11268926	86608910	10
200000000	0,4	0,06	21703812	11268926	92335349	9
200000000	0,45	0,06	21703812	11268926	98137349	8
200000000	0,5	0,06	21703812	11268926	104025562	7
200000000	0,6	0,06	21703812	11268926	115960403	6
200000000	0,7	0,06	21703812	11268926	128126827	5
200000000	0,9	0,06	21703812	11268926	153106397	4
200000000	1	0,06	21703812	11268926	166790219	3
200000000	1,1	0,06	21703812	11268926	178734152	3
200000000	1,3	0,06	21703812	11268926	207416178	3
200000000	1,5	0,06	21703812	11268926	232910438	2

Tabla 28.

Valores del CTP con $r= 0,07$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,07	21703812	11268926	65784566	17
200000000	0,2	0,07	21703812	11268926	70917135	15
200000000	0,25	0,07	21703812	11268926	76218884	13
200000000	0,3	0,07	21703812	11268926	81659531	11
200000000	0,35	0,07	21703812	11268926	87230638	10
200000000	0,4	0,07	21703812	11268926	92910489	9
200000000	0,45	0,07	21703812	11268926	98661204	8
200000000	0,5	0,07	21703812	11268926	104493077	7
200000000	0,6	0,07	21703812	11268926	116366143	6
200000000	0,7	0,07	21703812	11268926	128464948	5
200000000	0,9	0,07	21703812	11268926	153370618	4
200000000	1	0,07	21703812	11268926	166973793	3
200000000	1,1	0,07	21703812	11268926	178917726	3
200000000	1,3	0,07	21703812	11268926	207599752	3
200000000	1,5	0,07	21703812	11268926	233006117	2

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 29.

Valores del CTP con $r= 0,09$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,09	21703812	11268926	67232453	17
200000000	0,2	0,09	21703812	11268926	72282856	14
200000000	0,25	0,09	21703812	11268926	77504108	12
200000000	0,3	0,09	21703812	11268926	82855064	11
200000000	0,35	0,09	21703812	11268926	88359204	10
200000000	0,4	0,09	21703812	11268926	93963074	9
200000000	0,45	0,09	21703812	11268926	99627936	8
200000000	0,5	0,09	21703812	11268926	105363155	7
200000000	0,6	0,09	21703812	11268926	117127752	6
200000000	0,7	0,09	21703812	11268926	129105173	5
200000000	0,9	0,09	21703812	11268926	153875348	4
200000000	1	0,09	21703812	11268926	167327616	3
200000000	1,1	0,09	21703812	11268926	179271549	3
200000000	1,3	0,09	21703812	11268926	207953575	3
200000000	1,5	0,09	21703812	11268926	233192208	2

Tabla 30.

Valores del CTP con $r= 0,13$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,15	0,13	21703812	11268926	69408481	16
200000000	0,2	0,13	21703812	11268926	74399121	14
200000000	0,25	0,13	21703812	11268926	79526631	12
200000000	0,3	0,13	21703812	11268926	84811197	11
200000000	0,35	0,13	21703812	11268926	90170624	9
200000000	0,4	0,13	21703812	11268926	95659906	8
200000000	0,45	0,13	21703812	11268926	101283781	8
200000000	0,5	0,13	21703812	11268926	106877364	7
200000000	0,6	0,13	21703812	11268926	118474908	6
200000000	0,7	0,13	21703812	11268926	130256554	5
200000000	0,9	0,13	21703812	11268926	154798531	4
200000000	1	0,13	21703812	11268926	167986028	3
200000000	1,1	0,13	21703812	11268926	179929961	3
200000000	1,3	0,13	21703812	11268926	208611987	3
200000000	1,5	0,13	21703812	11268926	233544629	2

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Del análisis de sensibilidad se observa que valores muy bajo de **k**, valores entre 0,15 y 0,25 da como resultado un valor de **n** muy grande, es decir demasiado tiempo para realizar el reemplazo de la máquina o el equipo lo cual genera sobrecostos en operación y mantenimiento, por otro lado, si se toma valores muy altos de **k**, es decir por encima de 0,7 da como resultado un apresurado cambio o reemplazo de la maquinaria o equipos de la empresa, lo cual no es conveniente cambiar el equipo porque puede afectar la liquidez de la empresa. De esta manera se establece un rango o un intervalo de los posibles valores de **k**, puede tomar valores entre 0,2 hasta 0,6, **k (0,2 - 0,6)**.

De la siguiente manera se estableció un rango o intervalo de valores para **r**, del intervalo de **k**, se toman los valores fijos de **k** entre 0,3 hasta 0,5 y se evalúa entre rangos de **r** de 0,01 hasta 0,23; En la tabla 31 muestra el valor de **k=0,3** fijo, y el intervalo de **r** varia (0,01-0,23).

Tabla 31.

Valores del CTP con $k=0,3$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,3	0,01	21703812	11268926	76444345	13
200000000	0,3	0,02	21703812	11268926	77579181	13
200000000	0,3	0,03	21703812	11268926	78563055	12
200000000	0,3	0,04	21703812	11268926	79453178	12
200000000	0,3	0,05	21703812	11268926	80274419	12
200000000	0,3	0,06	21703812	11268926	80995581	11
200000000	0,3	0,07	21703812	11268926	81659531	11
200000000	0,3	0,09	21703812	11268926	82855064	11
200000000	0,3	0,11	21703812	11268926	83897686	11
200000000	0,3	0,13	21703812	11268926	84811197	11
200000000	0,3	0,15	21703812	11268926	85594003	10
200000000	0,3	0,17	21703812	11268926	86290734	10
200000000	0,3	0,19	21703812	11268926	86914141	10
200000000	0,3	0,21	21703812	11268926	87473878	10
200000000	0,3	0,23	21703812	11268926	87978127	10

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 32.

Valores del CTP con $k= 0,35$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,35	0,01	21703812	11268926	82593899	11
200000000	0,35	0,02	21703812	11268926	83558179	11
200000000	0,35	0,03	21703812	11268926	84450763	11
200000000	0,35	0,04	21703812	11268926	85233671	10
200000000	0,35	0,05	21703812	11268926	85944493	10
200000000	0,35	0,06	21703812	11268926	86608910	10
200000000	0,35	0,07	21703812	11268926	87230638	10
200000000	0,35	0,09	21703812	11268926	88359204	10
200000000	0,35	0,11	21703812	11268926	89332971	9
200000000	0,35	0,13	21703812	11268926	90170624	9
200000000	0,35	0,15	21703812	11268926	90921693	9
200000000	0,35	0,17	21703812	11268926	91597306	9
200000000	0,35	0,19	21703812	11268926	92206935	9
200000000	0,35	0,21	21703812	11268926	92758860	9
200000000	0,35	0,23	21703812	11268926	93259449	9

Tabla 33.

Valores del CTP con $k= 0,4$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,4	0,01	21703812	11268926	88762523	10
200000000	0,4	0,02	21703812	11268926	89638881	10
200000000	0,4	0,03	21703812	11268926	90382251	9
200000000	0,4	0,04	21703812	11268926	91074234	9
200000000	0,4	0,05	21703812	11268926	91724220	9
200000000	0,4	0,06	21703812	11268926	92335349	9
200000000	0,4	0,07	21703812	11268926	92910489	9
200000000	0,4	0,09	21703812	11268926	93963074	9
200000000	0,4	0,11	21703812	11268926	94874266	8
200000000	0,4	0,13	21703812	11268926	95659906	8
200000000	0,4	0,15	21703812	11268926	96371223	8
200000000	0,4	0,17	21703812	11268926	97017019	8
200000000	0,4	0,19	21703812	11268926	97604880	8
200000000	0,4	0,21	21703812	11268926	98141368	8
200000000	0,4	0,23	21703812	11268926	98632173	8

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Tabla 34.

Valores del CTP con $k= 0,45$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,45	0,01	21703812	11268926	94980088	9
200000000	0,45	0,02	21703812	11268926	95723859	8
200000000	0,45	0,03	21703812	11268926	96379608	8
200000000	0,45	0,04	21703812	11268926	96998786	8
200000000	0,45	0,05	21703812	11268926	97583924	8
200000000	0,45	0,06	21703812	11268926	98137349	8
200000000	0,45	0,07	21703812	11268926	98661204	8
200000000	0,45	0,09	21703812	11268926	99627936	8
200000000	0,45	0,11	21703812	11268926	100498141	8
200000000	0,45	0,13	21703812	11268926	101283781	8
200000000	0,45	0,15	21703812	11268926	101969947	7
200000000	0,45	0,17	21703812	11268926	102575477	7
200000000	0,45	0,19	21703812	11268926	103131738	7
200000000	0,45	0,21	21703812	11268926	103643830	7
200000000	0,45	0,23	21703812	11268926	104116231	7

Tabla 35.

Valores del CTP con $k= 0,5$

Inversión	K	r	Co	Cm	CTP	Año de reemplazo (n)
200000000	0,5	0,01	21703812	11268926	101187272	8
200000000	0,5	0,02	21703812	11268926	101882346	8
200000000	0,5	0,03	21703812	11268926	102475702	7
200000000	0,5	0,04	21703812	11268926	103018466	7
200000000	0,5	0,05	21703812	11268926	103534536	7
200000000	0,5	0,06	21703812	11268926	104025562	7
200000000	0,5	0,07	21703812	11268926	104493077	7
200000000	0,5	0,09	21703812	11268926	105363155	7
200000000	0,5	0,11	21703812	11268926	106154974	7
200000000	0,5	0,13	21703812	11268926	106877364	7
200000000	0,5	0,15	21703812	11268926	107537988	7
200000000	0,5	0,17	21703812	11268926	108143518	7
200000000	0,5	0,19	21703812	11268926	108697779	7
200000000	0,5	0,21	21703812	11268926	109211871	7
200000000	0,5	0,23	21703812	11268926	109684273	7

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Del análisis de sensibilidad se observa que valores muy bajos de r , valores entre 0,01 a 0,06 da como resultado un valor de n muy similar, es decir no afecta la vida de servicio, no afecta el año para realizar el reemplazo de la máquina o el equipo, por otro lado; Si se toma valores muy altos de k , es decir por encima de 0,7 da como resultado un apresurado cambio o reemplazo de la maquinaria o equipos de la empresa y su **CTP** se eleva considerablemente, lo cual no es conveniente cambiar el equipo porque afecta la liquidez de la empresa. De esta manera se establece un rango o un intervalo de los posibles valores de k , puede tomar valores entre 0,2 hasta 0,6; k (**0,2 - 0,6**). Para el rango de valores para la tasa de mejoras tecnológicas por año va desde 0,01 hasta 0,07, r (**0,01 - 0,07**), en el capítulo 8.3 se hace un análisis detallado para establecer el valor de k y r por medio del intervalo determinado en este capítulo.

8.3. Determinación del valor de k

Para determinar el valor de k se tiene como base de análisis que es una constante que está afectada **por factores propios del ambiente y condiciones de trabajo** en la cual la máquina realiza su actividad, las cuales van generando daños en la misma disminuyendo su vida útil, afectando su operatividad e incrementando los costos de operación y mantenimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior se estima el valor óptimo de k para que se ajuste a las condiciones de la empresa, para esto se utiliza la metodología aplicada para la identificación y valor de riesgos de seguridad y salud en el trabajo de la **NTC GTC 45 V. 2012**, adaptándola en este caso a la necesidad de remplazo de maquinaria pesada y teniendo en cuenta el intervalo de k en el capítulo

8.2.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

La evaluación del nivel de incremento de los costos de operación y mantenimiento, hace referencia a un proceso para identificar la probabilidad de incremento de estos costos y la magnitud de sus consecuencias, mediante un método sistemático para identificar estos valores.

$$NIC = NPD * NC$$

NIC= Nivel de incremento de costos de operación y mantenimiento

NPD= Nivel de probabilidad de Deterioro.

NC= Nivel de las Consecuencias

Para determinar el **NPD** debemos conocer:

$$NPD = ND * NH$$

Donde:

ND= Es el nivel de deterioro de la máquina, por su exposición al medio ambiente, corrosión, desgaste de materiales entre otros.

NH= Es la cantidad de horas operativas que debe cumplir la maquina o los turnos en los que opera para cumplir con su labor.

En la tabla 36 indica la determinación del valor de deterioro, en la cual se explica las condiciones ambientales a la cual está expuesta la máquina, la máquina puede trabajar expuesta a exceso de humedad y material abrasivo.

Tabla 36.

Determinación del nivel de deterioro

Nivel de Deterioro	Valor ND	Significado
Muy Alto	10	La máquina está trabajando a la intemperie, expuesta a exceso de humedad y material altamente abrasivo para sus componentes y estructura en general, y su almacenamiento es al aire libre bajo condiciones de exceso de humedad.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Alto	6	La máquina está trabajando a la intemperie, pero no hay exceso humedad, ni agentes corrosivos, expuesta a material altamente abrasivo para sus componentes, se almacena al aire libre pero no hay humedad excesiva.
Medio	2	La máquina está trabajando a la intemperie, no está expuesta a humedad ni agentes corrosivos, la máquina está expuesta a agentes abrasivos para sus componentes y estructura en general, se almacena bajo techo.
Bajo	0	La máquina realiza tareas bajo techo, en condiciones de poca humedad y sin agentes abrasivos que deterioren sus componentes y estructura en general, se almacena bajo techo

Tabla 37.

Número de horas operativas

Número de Horas Operativas	Valor NH	Significado
Continua	4	La máquina trabaja doble turno de 10 a 18 horas por día, todos los días de la semana.
Frecuente	3	La máquina trabaja un solo turno máximo de 10 horas, todos los días de la semana.
Ocasional	2	La máquina trabaja turnos de 10 horas 3 a 4 días por semana.
Esporádica	1	La máquina trabaja turnos de 8 a 10 horas 1 o dos veces a la semana.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Nivel de probabilidad de Deterioro		Número de Horas Operativas (NH)			
		4	3	2	1
Nivel de Deterioro (ND)	10	MA-40	MA-30	A-20	A-10
	6	MA-24	A-18	A-12	M-6
	2	M-8	M-6	B-4	B-2

Figura 32. Nivel de probabilidad de deterioro

Tabla 38.

Interpretación de los valores y rangos del nivel de probabilidad de deterioro

Nivel de probabilidad de Deterioro	Valor NPD	Significado
Muy Alto	Entre 40 y 24	Situación de la maquina expuesta a un ambiente de trabajo que le provoca muy alto grado de deterioro y es usada de manera continua o de manera frecuente, expuesta a un ambiente que le provoca un nivel de deterioro alto y su uso es frecuente, ocasionando daños y un deterioro más acelerado, incrementando de manera acelerada los costos por mantenimiento y operación.
Alto	Entre 20 y 12	Situación de la maquina expuesta a un ambiente de alto grado de deterioro y es usada de manera frecuente u ocasional, o expuesta a un nivel de ambiente de deterioro muy alto, ocasionando daños y un deterioro, incrementando los costos por mantenimiento y operación.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Medio	Entre 8 Y 6	La máquina trabaja expuesta a un ambiente de trabajo que le ocasiona nivel medio de deterioro y trabaja de manera frecuente u ocasional o la maquina trabaja en un nivel de deterioro medio y es usada de manera ocasional o esporádica, ocasionando daños y un deterioro, incrementando de manera más moderada los costos por mantenimiento y operación.
Bajo	Entre 4 y 2	La máquina está expuesta a un nivel de deterioro bajo y es usada de manera ocasional o esporádica en este caso el deterioro del equipo es más lento lo cual no incrementa los costos operativos y de mantenimiento de manera acelerada.

Tabla 39.

Determinación del nivel de consecuencia

Nivel de Consecuencias	Valor NC	Significado
Muy critico	100	Parada de la Maquina por varios días, más de dos días de trabajo, la maquina es muy antigua y sus repuestos son escasos y costosos.
Critico	60	Parada de la maquina por lo menos 1 o 2 días de trabajo, los repuestos se consiguen un poco más fácil, pero siguen siendo bastante costosos.
Grave	25	Parada temporal de la maquina por más de 2 horas trabajo, sus repuestos se consiguen fácilmente en el mercado nacional, son un poco más económicos.
Leve	10	Perdida de una hora o dos de trabajo, sus repuestos son económicos y fáciles de conseguir y se tiene un stock de los mismos.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Nivel de Incremento de Costos= NPD*NC		Nivel de Probabilidad de Deterioro (NPD)			
		Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
Nivel de Consecuencias (NC)	100	I 4000 - 2400	I 2000 - 1000	I 800 - 600	II 400 - 200
	60	I 2400 - 1440	I 1200 - 600	II 480 - 360	II 240 III 120
	25	I 1000 - 600	II 500 - 250	II 200 - 150	II 100 - 50
	10	II 400 - 240	II 200 III 100		III 40 IV 20

Figura 33. Cálculo del Nivel de Incremento de los costos de operación y mantenimiento (NIC)

Después de conocer la clasificación del NIC, podemos determinar el valor de K que debemos usar en el modelo de reemplazo.

Tabla 40.

Determinación del valor de k

Nivel de Incremento de Costos	Valor k	Significado
I	50%	La máquina que se encuentra en este rango se le asigna el valor de $k = 0,5$; El cual incrementa de manera más acelerada los costos de operación y mantenimiento basando este factor en condiciones de trabajo más agresivos para la máquina, turnos de operación más prolongados casi continuos, antigüedad de la máquina y facilidad para conseguir sus repuestos en este caso sus repuestos son escasos.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

II	40%	<p>La máquina que se encuentra en este rango se le asigna el valor de $k= 0,4$; El cual incrementa de manera acelerada los costos de operación y mantenimiento basando este factor en condiciones de trabajo un poco agresivos para la máquina, turnos de operación más prolongados o frecuentes, antigüedad de la máquina es menor que la anterior y facilidad para conseguir sus repuestos en este caso sus repuestos se consiguen más rápido, pero siguen siendo costosos.</p>
III	30%	<p>La máquina que se encuentra en este rango se le asigna ese valor de k, el cual incrementa de manera moderada los costos de operación y mantenimiento basando este factor en condiciones de trabajo menos agresivos para la máquina, turnos de operación más flexibles con menos carga laboral, antigüedad de la máquina es mínima o casi nueva y facilidad para conseguir sus repuestos en este caso sus repuestos se consiguen más rápido en el mercado nacional o local y un poco más económicos.</p>
IV	20%	<p>La máquina que se encuentra en este rango se le asigna ese valor de k, el cual incrementa de manera moderada los costos de operación y mantenimiento basando este factor en condiciones de trabajo un poco agresivos para la máquina, turnos de operación más flexibles u ocasionales con menos carga laboral, la maquina es nueva y facilidad para conseguir sus repuestos en este caso sus repuestos se consiguen más rápido en el mercado nacional o local y un poco más económicos y se tiene un stock de los mismos en la bodega.</p>

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se realizó un diagnóstico a todas las máquinas de la empresa Anescol en donde se evaluaron factores como criticidad, altos costos de mantenimiento,

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

años de servicio, tiempo de parada de los equipos, el cual dio como resultado la perforadora Mustang A65C, siendo esta la más crítica en varios factores para esta organización.

Nivel de Deterioro	Cantidad de Horas Operativas	Nivel de probabilidad (ND * NH)	Interpretación del nivel de probabilidad	Nivel de Consecuencia	Nivel de Incremento de Costos	Interpretación nivel de riesgo	Valor de K
6	3	18	Alto	100	1800	I	40%

En este caso y según las variables que más se ajustan a este equipo, la perforadora Mustang (PE-09) determinamos un valor de $k=0,4$ o $k=40\%$

8.4. Determinación del valor de r

Para determinar el valor de r y recordando que esta es una constante que se ve afectada por factores propios del desarrollo tecnológico, prestaciones y obsolescencia de la maquinaria y equipos de Anescol y teniendo en cuenta lo anterior vamos a estimar el valor óptimo de r para que se ajuste a las condiciones de la empresa y teniendo en cuenta el rango estipulado en el capítulo 8.2, para esto también usaremos como base la metodología aplicada para la identificación y valor de riesgos de seguridad y salud en el trabajo de la NTC GTC 45 V. 2012, adaptándola en este caso a nuestra necesidad de remplazo de maquinaria pesada.

La identificación de la tasa de mejoras tecnológicas por año, hace referencia a un proceso para identificar la probabilidad de desarrollo mejoras tecnológicas y su impacto sobre el desempeño de la maquinaria, mediante un método sistemático para identificar estos valores.

$$IMT = NIT * NP$$

IMT= Identificación de la tasa de mejoras tecnológicas por año

NIT= Nivel de Incremento Tecnológico.

NP= Número de Paradas.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Para determinar el **NIT** debemos conocer:

$$\text{NIT} = \text{NM} * \text{NAS}$$

Donde:

NM= Es el nivel de mejoras de la máquina, por su avance tecnológico.

NAS= Es la cantidad de años de servicio que ha tenido la máquina, pues a mayor número de años de servicio se pierde eficiencia.

Valores de Referencia para determinar el valor a asignar para el Nivel de Mejoras (NM):

Tabla 41.

Determinación del valor para el nivel de mejoras (NM)

Nivel de Mejoras	Valor NM	Significado
Muy Alto	10	Se presentan mejores maquinas o equipos similares que tienen mejores prestaciones en un rango de 1 a 2 años.
Alto	6	Se presentan mejores maquinas o equipos similares que tienen mejores prestaciones en un rango de 3 a 6 años.
Medio	2	Se presentan mejores maquinas o equipos similares que tienen mejores prestaciones en un rango de 7 a 10 años.
Bajo	0	No se han presentado mejoras tecnológicas de este equipo, es nuevo y tiene tecnología de punta

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Valores de Referencia para determinar el valor a asignar para el Número de Años de Servicio (NAS):

Tabla 42.

Determinación del valor para el número de años de servicio (NAS)

Número de Años de Servicio	Valor NAS	Significado
Continua	4	El equipo que se está evaluando tiene más de 15 años de servicio.
Frecuente	3	El equipo que se está evaluando tiene de 10 a 15 años de servicio.
Ocasional	2	El equipo que se está evaluando tiene de 5 a 9 años de servicio.
Esporádica	1	El equipo que se está evaluando tiene es nuevo o tiene menos de 5 años de servicio.

A continuación, se realiza el cálculo del Nivel de Incremento Tecnológico:

$$\text{NIT} = \text{NM} * \text{NAS}$$

Nivel de Incremento Tecnológico (NIT)		Número de Años de Servicio (NAS)			
		4	3	2	1
Nivel de Mejoras (NM)	10	MA-40	MA-30	A-20	A-10
	6	MA-24	A-18	A-12	M-6
	2	M-8	M-6	B-4	B-2

Figura 34. Determinación del nivel de incremento tecnológico (NIT)

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Interpretación de los valores y rangos del Nivel de Incremento Tecnológico:

Tabla 43.

Interpretación de los valores y rangos del NIT

Nivel de Incremento Tecnológico	Valor NIT	Significado
Muy Alto	Entre 40 y 24	Se presentan mejores maquinas o equipos similares que tienen mejores prestaciones en un rango de 1 a 2 años y el equipo que se está evaluando tiene más de 15 años de servicio.
Alto	Entre 20 y 12	Se presentan mejores maquinas o equipos similares que tienen mejores prestaciones en un rango de 3 a 6 años y el equipo que se está evaluando tiene de 10 a 15 años de servicio.
Medio	Entre 8 Y 6	Se presentan mejores maquinas o equipos similares que tienen mejores prestaciones en un rango de 7 a 10 años y el equipo que se está evaluando tiene de 5 a 9 años de servicio.
Bajo	Entre 4 y 2	No se han presentado mejoras tecnológicas de este equipo, es nuevo y tiene tecnología de punta y el equipo que se está evaluando tiene es nuevo o tiene menos de 5 años de servicio.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Valores de referencia para determinar el valor a asignar para el Número de Paradas

Tabla 44.

Determinación del valor para el número de paradas en el año

Número de Paradas	Valor NP	Significado
Muy critico	100	La máquina ha tenido más de 20 días perdidos por paradas en el año.
Critico	60	La máquina ha tenido de 9 a 19 días perdidos por paradas en el año.
Grave	25	La máquina ha tenido 3 a 9 días perdidos por paradas en el año.
Leve	10	La máquina ha tenido menos de 2 días perdidos por paradas en el año.

Calculo de Identificación de Tasa de Mejoras: $IMT = NP * NIT$

Identificación de Tasa de Mejoras		Nivel de Incremento Tecnológico (NIT)			
		Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
Número de Paradas (NP)	100	I 4000 - 2400	I 2000 - 1000	I 800 - 600	II 400 - 200
	60	I 2400 - 1440	I 1200 - 600	II 480 - 360	II 240 III 120
	25	I 1000 - 600	II 500 - 250	II 200 - 150	50
	10	II 400 - 240	II 200 III 100		III 40 IV 20

Figura 35. Matriz de identificación de tasa de mejoras (ITM)

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Después de conocer la clasificación del IMT, podemos determinar el valor de r que debemos usar en el modelo de reemplazo bajo condiciones de obsolescencia tecnológica.

Tabla 45.

Determinación del valor de r

Identificación de Tasa de Mejoras	Valor IMT	Valor r	Significado
I	4000 – 600	4%	Este equipo está disponible en nuevas y mejores versiones, su actualización tecnológica es constante y su operación lo hace menos eficiente frente a los demás, además este equipo genera muchos costos de oportunidad al tener paradas seguidas y prolongadas.
II	500 - 150	3%	Este equipo está disponible en nuevas y mejores versiones, su actualización tecnológica es frecuente y su operación lo hace menos eficiente frente a los demás, además este equipo pierde eficiencia al tener paradas frecuentes.
III	120 - 40	2%	Este equipo tiene versiones un poco más recientes, su actualización tecnológica es esporádica y su operación lo hace menos eficiente frente a los demás, este equipo pierde eficiencia a menor ritmo pues no tiene paradas frecuentes y prolongadas.
IV	20 - 0	1%	Este equipo es relativamente nuevo, su actualización tecnológica es más lenta pues son muy pocos los avances tecnológicos para esta máquina y su operación es eficiente, aunque pierde eficiencia, sus paradas son muy mínimas y se soluciona de manera rápida.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Nivel de Mejoras	Número de Años de Servicio	Nivel de Incremento Tecnológico (NM * NAS)	Nivel de Incremento Tecnológico	Número de Paradas	Identificación de Tasa de Mejoras	Interpretación nivel de riesgo	Valor de r
10	4	40	Muy Alto	100	4000	I	4%

En este caso y según las variables que más se ajustan a este equipo determinamos un valor de $r = 0,04$ o $r = 4\%$

8.5. Aplicación del Modelo Matemático a la perforadora Mustang AC65 (PE-09).

Después de haber realizado el estudio de criticidad a las máquinas de la empresa y hacer el diagnóstico de maquinaria y equipo se identificó y se seleccionó el equipo más crítico el cual es la perforadora Mustang A65C (PE-09), está perforadora servirá como base para aplicar el modelo de reemplazo bajo condiciones de obsolescencia tecnológica y económica y realizar las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Las variables necesarias para ejecutar el modelo son:

- Inversión Inicial (I).
- Costo de Operación (Co).
- Costo de Mantenimiento (Cm).
- Factor de ajuste para los costos de operación y mantenimiento (k).
- Factor de ajuste para la tasa promedio de mejoras (r).

Los valores para cada una de las variables de la ecuación son los siguientes:

$$I = \$ 200'000.000. \quad Co = \$ 21'703.812. \quad Cm = \$ 11'268.926 \quad k = 0,4 \quad r = 0,04$$

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

$$CTPn^* = \frac{I + \sum_{i=1}^{x=n} (Co + Cm)(x + 1)^k + \sum_{i=1}^{x=n} Co[1 - (\frac{1}{1+r})^{x-1}]}{n}$$

Este modelo tiene dos alternativas de decisión, las cuales concluyen en un mismo punto el costo total promedio óptimo para decidir en qué periodo (n), se debe reemplazar la máquina para reducir las pérdidas económicas por excesos en los costos de operación y mantenimiento o para evitar pérdidas al reemplazar el equipo de manera apresurada, estas alternativas de decisión están regidas por dos desigualdades quienes son las que definen el punto óptimo (n), de reemplazo, a continuación se presentan las dos desigualdades.

Shamblin (1974) propone las siguientes reglas para reemplazo de equipo para este modelo:

Regla 1. $CTPn^* < (Co + Cm)(n + 1)^k + Co[1 - (\frac{1}{1+r})^n]$ Es económico reemplazar

Esta regla indica que si el costo total promedio para n periodos es menor a la suma de los dos componentes de costos de operación y mantenimiento y costo causado por la obsolescencia tecnológica y económica para ese periodo n+1, es económico reemplazar el equipo.

Regla 2. $CTP(n - 1) > (Co + Cm)(n)^k + Co[1 - (\frac{1}{1+r})^{n-1}]$ No es económico reemplazar

(p.106).

Esta regla indica que si el costo total promedio de n-1 periodos es mayor a la suma de los dos componentes de costos de operación y mantenimiento y costo causado por la obsolescencia tecnológica y económica para ese periodo n, no es económico reemplazar el equipo; Se debe esperar un período más para hacer su reemplazo, hasta encontrar el óptimo.

Para la maquina Mustang A65C (PE-09), se realiza una proyección a 24 años, partiendo del supuesto que la maquina se acaba de adquirir, se obtienen las siguientes reglas de decisión de reemplazo.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Año de reemplazo	Costo de mantenimiento promedio con ajuste (3)	Costo de mantenimiento promedio con ajuste acumulado	Promedio Costo de mantenimiento promedio con ajuste acumulado (a)	Efecto de la obsolescencia respecto al porcentaje de mejoras (4)	Efecto de la obsolescencia respecto al porcentaje de mejoras acumulado	Promedio Efecto de la obsolescencia respecto al porcentaje de mejoras acumulado (b)	Inversión (c)	Costo Total Promedio	Suma de costos (5) = (3)+(4)	Regla 1	Regla 2
1	43507789	43507789	43507789	0	0	0	200.000.000	243.507.789	43507789	191504429	
2	51168598	94676386	47338193	834762	834762	417381	100.000.000	147.755.574	52003360	88709285	-191504429
3	57408871	152085257	50695086	1637418	2472180	824060	66.666.667	118.185.812	59046289	53007928	-88709285
4	62768683	214853940	53713485	2409202	4881382	1220345	50.000.000	104.933.830	65177885	34265159	-53007928
5	67517369	282371309	56474262	3151303	8032684	1606537	40.000.000	98.080.799	70668672	22404400	-34265159
6	71811538	354182847	59030475	3864861	11897545	1982924	33.333.333	94.346.732	75676399	14044298	-22404400
7	75751460	429934307	61419187	4550974	16448519	2349788	28.571.429	92.340.404	80302434	7723943	-14044298
8	79405762	509340069	63667509	5210699	21659218	2707402	25.000.000	91.374.911	84616460	2706088	-7723943
9	82823773	592163842	65795982	5845049	27504267	3056030	22.222.222	91.074.234	88668822	-1423082	-2706088
10	86042315	678206157	67820616	6455002	33959269	3395927	20.000.000	91.216.543	92497316	-4914655	1423082
11	89089703	767295859	69754169	7041494	41000763	3727342	18.181.818	91.663.329	96131197	-7930349	4914655
12	91988249	859284108	71607009	7605430	48606192	4050516	16.666.667	92.324.192	99593679	-10579376	7930349
13	94755892	954040001	73387692	8147675	56753867	4365682	15.384.615	93.137.990	102903567	-12938377	10579376
14	97407302	1051447303	75103379	8669065	65422932	4673067	14.285.714	94.062.160	106076367	-15062892	12938377
15	99954650	1151401953	76760130	9170401	74593334	4972889	13.333.333	95.066.352	109125052	-16994267	15062892
16	102408164	1253810118	78363132	9652456	84245789	5265362	12.500.000	96.128.494	112060620	-18764006	16994267
17	104776531	1358586648	79916862	10115969	94361759	5550692	11.764.706	97.232.259	114892500	-20396598	18764006
18	107067202	1465653850	81425214	10561656	104923414	5829079	11.111.111	98.365.404	117628857	-21911420	20396598
19	109286624	1574940474	82891604	10990200	115913614	6100717	10.526.316	99.518.636	120276824	-23324043	21911420
20	111440417	1686380891	84319045	11402262	127315876	6365794	10.000.000	100.684.838	122842679	-24647152	23324043
21	113533515	1799914406	85710210	11798476	139114352	6624493	9.523.810	101.858.512	125331991	-25891213	24647152
22	115570275	1915484681	87067485	12179450	151293802	6876991	9.090.909	103.035.386	127749725	-27064954	25891213
23	117554568	2033039249	88393011	12545772	163839574	7123460	8.695.652	104.212.123	130100339	-28175731	27064954
24	119489850	2152529098	89688712	12898004	176737578	7364066	8.333.333	105.386.111	132387854	105386111	28175731

Figura 36. Modelo de reemplazo aplicado a la perforadora Mustang PE-10

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

8.5.1. Política de reemplazo para la perforadora Mustang AC65. Para aplicar la política de reemplazo se tomó para estudio la maquina Mustang AC65, está perforadora es la más crítica para la empresa, después de realizar un reconocimiento, un inventario, codificación y un diagnóstico, se realizó un estudio de criticidad el cual se aplicó a todas las máquinas y el resultado fue el equipo PE-09 o la perforadora Mustang AC65.

Teniendo en cuenta los resultados del modelo matemático se propone el cambio de esta máquina dentro de los 9 años siguientes al año en el que se realizó el estudio, para este caso el cálculo se comienza en el año 2018 y se proyectó a 24 años de vida en esta máquina, como resultado de la ecuación el periodo (**n**) optimo, donde se debe reemplazar la máquina al finalizar el noveno año de operación en este caso al finalizar el año 2027.

Esto se concluye al aplicar la primera regla de decisión

$$CTPn * < (Co + Cm)(n + 1)^k + Co[1 - (\frac{1}{1+r})^n] \text{ Es económico reemplazar}$$

En la ecuación anterior la cantidad $(Co + Cm)(n + 1)^k$ es el costo de operación y mantenimiento del $(n + 1)$ -ésimo período. La cantidad $Co[1 - (\frac{1}{1+r})^n]$ representa el costo de obsolescencia ocasionada por **n** períodos de no reemplazo; es decir que el equipo es **n + 1** períodos antiguo. Por tanto **n *** es un intervalo óptimo de servicio, si el costo total promedio al final de **n** períodos es menor que la suma del costo de operación y mantenimiento más el costo de obsolescencia del siguiente período (Shamblin, 1975, p. 107).

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

Con respecto a la figura 36, en $n=9$ el $CTP_9 = \$ 91.074.234$. El costo de operación y mantenimiento más el de obsolescencia del siguiente periodo es $\$ 92.497.316$; por tanto, el equipo no debe hacerse funcionar más de 9 períodos. Esto se verifica cuando se encuentra que el CTP_{10} es $\$ 91.216.543$.

La siguiente formula es la regla 2

$$CTP(n - 1) > (Co + Cm)(n)^k + Co[1 - (\frac{1}{1+r})^{n-1}] \text{ No es económico reemplazar}$$

Según la formula anterior, el valor de n^* se obtiene cuando el CTP en $n - 1$ es mayor que el costo de operación y mantenimiento más el de obsolescencia del siguiente intervalo, en la tabla 43, el $CTP_8 = 92.340.404 > 88.668.822$, el reemplazo no debe efectuarse en $n=8$.

La **política de reemplazo** se estipula de la siguiente manera para de la perforadora Mustang AC65.

El costo mínimo CTP_n está en $n=9$, $CTP_9 = 91.374.911$

El periodo optimo es $n = 9$ años para realizar el cambio de la perforadora Mustang AC65. Desde el momento que se realizó el estudio.

9. Indicadores de la Política de Reemplazo de Maquinaria Pesada

A continuación, se formularán los indicadores de seguimiento para garantizar la puesta en marcha de la política de reemplazo de maquinaria pesada para la empresa Anescol s.a.s.:

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

❖ Indicador de Cumplimiento con la inspección y revisión trimestral de la maquinaria

- **Frecuencia del Indicador:** Trimestral

- **Resultado esperado:** Porcentaje de cumplimiento de las revisiones a la maquinaria.

- **Meta:** 100 %

- **Calculo del Indicador:**

$$\text{inspección y revisión trimestral de la maquinaria} = \frac{\text{Inspecciones Realizadas}}{\text{Inspecciones planeadas}} * 100$$

❖ Indicador de Diligenciamiento de las hojas de vida de cada máquina.

- **Frecuencia del Indicador:** Mensual

- **Resultado esperado:** Porcentaje de cumplimiento de elaboración de las hojas de vida de cada máquina.

- **Meta:** 100 %

- **Calculo del Indicador:**

$$\text{Indicador de Diligenciamiento de las hojas de vida de la maquinaria} = \frac{\text{Hojas de vida Diligenciadas}}{\text{Total de Hojas de Vida}} * 100$$

❖ Indicador de reemplazo de maquinaria y equipo.

- **Frecuencia del Indicador:** Anual

- **Resultado esperado:** Porcentaje de operación de la máquina.

- **Meta:** 100 %

- **Calculo del Indicador:**

$$\text{Indicador de reemplazo de maquinaria y equipo.} = \frac{\text{Años de servicio}}{\text{Numero de años op timos (n*)}} * 100$$

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

- ❖ Indicador de Eficacia.
- **Frecuencia del Indicador:** Trimestral.
- **Resultado esperado:** Porcentaje de eficacia.
- **Meta:** =100 %
- **Calculo del Indicador:**

$$\text{Indicador de Eficacia} = \frac{\# \text{ de servicios prestados}}{\# \text{ de servicios programados}} * 100$$

- ❖ Indicador de Gestión de Quejas y Reclamos.
- **Frecuencia del Indicador:** Mensual.
- **Resultado esperado:** Porcentaje de solución de quejas y reclamos.
- **Meta:** =100 %
- **Calculo del Indicador:**

$$\text{Indicador de Gestión de Quejas y Reclamos} = \frac{\# \text{ Quejas atendidas satisfactoriamente}}{\# \text{ Quejas recibidas en el mes}}$$

10. Conclusiones

Para Anescol s.a.s., es prioridad la satisfacción de sus clientes y la buena calidad de sus trabajos, para esto debe contar con la maquinaria adecuada y en óptimas condiciones así poder cumplir con

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

sus compromisos, por esta razón se hace necesario realizar una revisión trimestral de su maquinaria y equipos en la cual se debe actualizar su inventario, revisar su codificación y el estado en que se encuentra el sistema de marcación para cada máquina, se debe llenar a diario el reporte de la hoja de vida para cada máquina, esto permitirá conocer con certeza los costos de operación y mantenimientos reales para cada equipo y poder dar seguimiento al modelo de reemplazo por medio de los costos de operación y mantenimiento.

Se evidencio que la empresa no tenía claro la asignación de los costos de mantenimiento y operación de su maquinaria y equipo debido a que se trasladaba la maquinaria de un lugar a otro y no se tenía una codificación o identificación adecuada de las mismas, ocasionando que se asignaran los costos de manera aleatoria dificultando la trazabilidad de estos conceptos, teniendo en cuenta el problema de remplazo de maquinaria y equipo que deben enfrentar las empresas y la necesidad de optimizar su uso, minimizar los costos de operación y mantenimiento, se hace necesario la implementación de soluciones más exactas, como el modelo de optimización matemática propuesto en este proyecto, que brinda soluciones objetivas que ayudara a la toma de decisiones en este caso.

Para la inspección total de la maquinaria, se revisó el equipos estado de las máquinas y se le asignó una codificación que permite identificar de manera fácil la asignación de sus costos de operación y mantenimiento, esto le permite a la empresa brinda un panorama general y real del estado de la maquinaria y sus costos, se planteó un estudio de criticidad para identificar la máquina que requiere mayor atención, a la cual se le aplico el modelo de optimización matemática para tomar una decisión con respecto a sus características y necesidades.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

El estudio de criticidad demostró que la máquina perforadora Mustang AC65, es la más crítica debido a que es una maquina con 25 años de uso, presentando 20 días de paradas por daños o mantenimiento, teniendo en cuenta un promedio de 300 días laborales el 7% de este tiempo no se puede utilizar, ocasionando a la empresa un costo de oportunidad de \$ 24.000.000 por año y sus costos de mantenimiento fueron \$ 39.652.469.

Se aplicó el modelo de optimización matemática el cual tiene en cuenta tres componentes importantes los cuales son la inversión inicial, los costos de operación y mantenimiento y el costo que trae la obsolescencia de la maquina el cual permite hacer una comparación sobre la conveniencia o no de tener la maquina operando o cambiarla por una nueva que pueda realizar el mismo trabajo y brindar mejores prestaciones, este modelo indica que es necesario cambiar la máquina perforadora Mustang A65C dentro de 9 años a partir del año 2018, pues se parte de la suposición que la maquina se compró en ese año.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

11 Recomendaciones

Se recomienda tomar en cuenta los resultados del modelo matemático para la toma de decisiones al momento de decidir si se debe cambiar o no una máquina o equipo, en especial para la máquina perforadora Mustang A65C.

Se debe mantenerse el sistema de codificación e identificación implementado en las máquinas, pues este permite un mejor control de los costos de mantenimiento y operación de cada una de las máquinas.

El diligenciamiento oportuno y actualizado de las hojas de vida de cada máquina y equipo, también es importante hacer una revisión trimestral de la maquinaria para conocer su estado y sus necesidades.

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA**Referencias Bibliográficas**

- Ackoff, R. L., & Sasieni, M. J. R. (1971). *Fundamentos de investigación de operaciones*. México: Editorial Limusa-Wiley S.A.
- Anaya, J., & Polanco, S. (2005). *Innovación y mejora de procesos logísticos*. Madrid: Editorial, SIC.
- Fletcher, A., & Clarke, G. (1966). *La investigación operativa en la práctica de la empresa*. Bilbao. España:Ediciones Deusto.
- Fuentes, G., Mercedes, V., Pérez, M., Elizabeth, L., Guillen, C., & Yovane, F. (2013). *Estudio de reemplazo de activos y análisis de alternativas de financiamiento para empresas dedicadas a la extracción de aceites esenciales*(Tesis de pregrado). Universidad de el Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/3780/1/F37> Estudio de reemplazo de activo y analisis de alternativas de financiamiento.pdf
- Izar, J. (1998). *Fundamentos de investigación de operaciones para administración*. Recuperado de <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3132/2/ceu0072.pdf>
- Kaufman, A. (1961). *Métodos y Modelos de la I. de O. Investigación de Operaciones*. México: CECSA.
- Plata, V. (2009). *Diagnóstico de maquinaria pesada, equipo menor y vehículos de transporte para el desarrollo de un plan de mantenimiento en la constructora VC LTDA* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://docplayer.es/18997970-Diagnostico-de-maquinaria-pesada-equipo-menor-y-vehiculos-de-transporte-para-el-desarrollo-de-un-plan-de-mantenimiento-en-la->

MODELO DE REEMPLAZO EN EQUIPOS Y MAQUINARIA

constructora-vc-ltda.html

Prawda, J. (1995). *Métodos y Modelos de investigación de operaciones*. México: Editorial Limusa.

Salgado, M. E. (2004). *Análisis y Modelos de Reemplazo* (Tesis de pregrado) Recuperado de http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/666/2004_ESFM_SUPERIOR_estevez_salgado.pdf?sequence=1

Shamblin, J. E. S. (1974). *Investigación de operaciones: un enfoque fundamental*. México: Mc. Graw_Hill.

Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones - Modelo de transbordo. Investigación de Operaciones*. Recuperado de <https://vagosuatfis.files.wordpress.com/2012/07/thaja-investigacion-de-operaciones-by-k9.pdf>