

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA DOCUMENTACIÓN DEL
DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO Y SU IMPACTO
FINANCIERO EN LAS ORGANIZACIONES**

CARLOS ALBERTO ECHÁVEZ MARTÍNEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA DOCUMENTACIÓN DEL
DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO Y SU IMPACTO
FINANCIERO EN LAS ORGANIZACIONES**

CARLOS ALBERTO ECHÁVEZ MARTÍNEZ

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

Ingeniero Mecánico

Codirector

LUÍS FERNANDO ECHÁVEZ MARTÍNEZ

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A Dios,

A mi madre, gran ejemplo de vida, por su amor y confianza,

A toda mi familia, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Isnardo González Jaimes, director del trabajo de grado, por su paciencia y valiosa colaboración.

A mi primo Luís Fernando Echávez Martínez, por su ardua asesoría. Más que un primo es un hermano.

A los profesores de la escuela de Ingeniería Mecánica, por sus enseñanzas y conocimientos compartidos.

A mis amigos,

Carlos Alberto Echávez Martínez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. ENFOQUES Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	20
1.1 ENFOQUE HACIA LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO	20
1.2 ENFOQUE INTEGRAL DE CREACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	22
1.3 ENFOQUE HACIA LA ORGANIZACIÓN TÁCTICA DE MANTENIMIENTO	23
1.4 ENFOQUE HACIA LAS HABILIDADES Y COMPETENCIAS DE MANTENIMIENTO	24
1.5 ENFOQUE HACIA LA GESTIÓN DE ACTIVOS	25
1.5.1 La terotecnología.....	28
1.5.2 El estándar PAS 55:2008 y la nueva familia de estándares ISO 5500X.	29
1.6 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	31
1.7 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	32
1.7.1 Objetivo general	32
1.7.2 Objetivos específicos.....	32
2. CONCEPTOS GENERALES SOBRE MANTENIMIENTO	34
2.1 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	34
2.1.1 El mantenimiento correctivo (CM)	36
2.1.2 El mantenimiento preventivo (PM)	36
2.1.3 El mantenimiento predictivo (PdM).....	37
2.1.3.1 Mantenimiento predictivo vs. Mantenimiento preventivo	38
2.2 PLANES DE MANTENIMIENTO.....	40
2.3 MANTENIMIENTO: GESTIÓN Y EJECUCIÓN.....	41
2.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDA POR COMPUTADORA.....	43

2.5 METODOLOGÍAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO: LA INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD	45
2.5.1 Herramientas de la confiabilidad	46
2.5.2 Relaciones entre el mantenimiento, la producción y los equipos	46
2.5.3 Metodologías de la confiabilidad	47
2.5.3.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	48
2.5.3.2 Optimización del mantenimiento planeado (PMO)	50
2.5.3.3 Análisis y modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM).....	53
2.6 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL MANTENIMIENTO	56
2.7 MODELO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	58
2.7.1 Motivación	58
2.7.2 Contabilidad general vs. Contabilidad analítica.....	62
2.7.3 Clasificación de costos: infraestructura de la información de mantenimiento.....	64
2.8 INDICADORES APLICADOS EN MANTENIMIENTO.....	77
2.8.1 Indicadores de gestión	79
2.8.2 Indicadores mundiales de mantenimiento y confiabilidad.....	82
2.9 BENCHMARKING.....	85
2.9.1 ¿Cómo se define el benchmarking?	85
2.9.2 Benchmarking asociado a mantenimiento.....	88
3. CONTABILIDAD DE COSTOS Y MODELOS DE ANÁLISIS FINANCIERO APLICADOS EN MANTENIMIENTO	92
3.1 FLUJOS DE CAJA	92
3.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN FINANCIERA.....	94
3.2.1 Valor presente neto (VPN)	95
3.2.2 Tasa interna de retorno (TIR)	96
3.3 MODELO DE ANÁLISIS DUPONT	96
3.3.1 ¿Qué es modelo DuPont?	96

3.3.2 Aplicación del modelo DuPont para evaluar el impacto financiero del mantenimiento.....	98
4. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	102
4.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN.....	102
4.1.1 Sistemas de información para el soporte de decisiones basados en hojas de cálculo.....	103
4.1.2 Maintenance Organization Assessment Tool - MOAT©.....	104
4.2 DISEÑO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	105
4.2.1 Metodología.....	105
4.2.2 Requerimientos de seguridad.....	106
4.2.3 Requerimientos generales.....	106
4.2.4 Entradas y salidas en cada módulo.....	109
4.2.4.1 Entradas.....	109
4.2.4.2 Salidas/Resultados.....	111
4.2.5 Algoritmos de programación de la herramienta computacional.....	113
4.2.6 Desarrollo del modelo de la herramienta computacional: diseño de la interfaz gráfica.....	126
4.3 PLATAFORMA DE DESARROLLO.....	127
5. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	128
5.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE Y SOFTWARE.....	128
5.2 CONFIGURACIÓN Y ACCESO A LA HERRAMIENTA EN MICROSOFT® EXCEL®.....	128
5.3 VENTANA PRINCIPAL.....	130
5.4 MÓDULO INFORMACIÓN GENERAL.....	133
5.5 MÓDULO DATOS DE ENTRADA DE COSTOS Y PERIODOS DE TIEMPO.....	134
5.6 MÓDULO INCLUSIÓN DE INDICADORES.....	139
5.7 MÓDULO HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN.....	140
6. PRUEBA DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL Y CASO DE ESTUDIO PILOTO.....	146
6.1 PRUEBAS EJECUTADAS A LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	146
6.1.1 Pruebas de validación.....	146

6.1.2 Pruebas de integración.....	146
6.2 ESTUDIO RAM/RBD Y ANÁLISIS FINANCIERO PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN UN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE CRUDO PESADO.....	147
6.2.1 Objetivo del estudio	147
6.2.2 Marco teórico.....	148
6.2.2.1 Fundamentos teóricos del análisis de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad (RAM).....	148
6.2.2.2 Distribución exponencial.....	150
6.2.2.3 Simulación de Monte Carlo	151
6.2.2.4 Medición financiera de optimizaciones de costos de mantenimiento	151
6.2.3 Descripción de los procesos de la facilidad objeto de estudio.....	152
6.2.4 Análisis estadístico de los sistemas de la facilidad 1	154
6.2.5 Análisis RAM según el modelo Monte Carlo de los sistemas de la facilidad 1	156
6.2.6 Estimación de los costos directos proyectados de mantenimiento.....	160
6.2.7 Conclusiones del caso de estudio piloto.....	165
7. CONCLUSIONES	168
8. RECOMENDACIONES.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	171
ANEXOS.....	174

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Enfoque integrado de gestión de activos: escalando la montaña juntos	27
Figura 2. Ciclo vicioso del mantenimiento reactivo	51
Figura 3. Resumen de la simulación y análisis RAM	56
Figura 4. Visiones sobre la evolución conceptual de los costos en mantenimiento	62
Figura 5. Jerarquía de los niveles taxonómicos especificada en la norma ISO 14224:2006.....	65
Figura 6. Estructura operacional típica de un ingenio azucarero en Colombia	68
Figura 7. Cobertura herramientas de soporte y dimensión técnica.....	69
Figura 8. Iceberg de costos de mantenimiento	71
Figura 9. Ejemplo distribución de costos globales totalizados según su naturaleza	72
Figura 10. Modelo de análisis DuPont	98
Figura 11. Relaciones en el modelo de contribución del mantenimiento	100
Figura 12. Modelo de análisis DuPont aplicado a mantenimiento.....	101
Figura 13. Módulos MOAT©	109
Figura 14. Ingreso a la herramienta computacional	114
Figura 15. Módulo información general.....	115
Figura 16. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo.....	116
Figura 17. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos indirectos/Inversiones)	117
Figura 18. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos de no mantenimiento)	118
Figura 19. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos directos, periodos históricos)	119
Figura 20. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos directos, periodos proyectados).....	120

Figura 21. Módulo inclusión de indicadores.....	121
Figura 22. Módulo herramientas de análisis y visualización	122
Figura 23. Módulo herramientas de análisis y visualización (Análisis DuPont)....	123
Figura 24. Módulo herramientas de análisis y visualización (Indicadores/Benchmarking)	124
Figura 25. Módulo herramientas de análisis y visualización (Gráficas/Distribuciones).....	125
Figura 26. Opciones de Excel® y carga del archivo de la herramienta.....	129
Figura 27. Acceso a la herramienta en Excel®.....	130
Figura 28. Ventana principal MOAT©.....	131
Figura 29. Ventana exportar datos.....	132
Figura 30. Ventana importar datos.....	132
Figura 31. Ventana Generalidades de la Empresa	133
Figura 32. Ventana Distribución de Facilidades y Sistemas	133
Figura 33. Ventana Horizonte de Tiempo	134
Figura 34. Ventana Costos de Mantenimiento	135
Figura 35. Ventana Costos Directos Periodos Históricos	136
Figura 36. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Costo Hora Hombre...	136
Figura 37. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Horas Hombre Totales	137
Figura 38. Ventana Costos Directos Periodos Proyectados	137
Figura 39. Ventana Costos Indirectos.....	138
Figura 40. Ventana Inversiones	138
Figura 41. Ventana Inclusión de Indicadores - Nivel Facilidades.....	139
Figura 42. Ventana Inclusión de Indicadores - Nivel Sistemas	140
Figura 43. Ventana Tableros de Costos	141
Figura 44. Ejemplo visualización de un Tablero de Costos	141
Figura 45. Ventana Flujos de Caja.....	142
Figura 46. Ejemplo visualización de un Flujo de Caja.....	142
Figura 47. Ventana Análisis DuPont	143

Figura 48. Ejemplo visualización del diagrama de Análisis DuPont.....	143
Figura 49. Ventana Indicadores/Benchmarking	144
Figura 50. Ejemplo visualización Análisis de Indicadores.....	144
Figura 51. Ventana Gráficas/Distribuciones.....	145
Figura 52. Ejemplo visualización Gráfica Lifting Cost	145
Figura 53. Función de confiabilidad	150
Figura 54. Función tasa de falla.....	150
Figura 55. Procesos productivos en la facilidad 1 (campo de producción de crudo pesado).....	153
Figura 56. Diagrama de bloques sistema de inyección de aguas residuales - SIAR	154
Figura 57. Diagrama de bloques sistema bombeo de crudo.....	154
Figura 58. Ilustración del Software BlockSIM® para cálculo de MTBF y MTTR ..	156
Figura 59. Simulación de disponibilidad del sistema SIAR	157
Figura 60. Cálculo prueba de la disponibilidad mensual para los sistemas de la facilidad 1	158
Figura 61. Cálculo prueba de la confiabilidad mensual para los sistemas de la facilidad 1	158
Figura 62. Gráfica del flujo de caja en la herramienta computacional MOAT© para los años 2013, 2014, 2015 y 2016 (cifras en miles de dólares americanos).....	164

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre la información contable general y la información contable analítica	63
Tabla 2. Ejemplos de aplicación de los niveles taxonómicos especificados en la norma ISO 14224:2006.....	66
Tabla 3. Estructura de costos para los periodos históricos - Nivel Unidad Productiva/Planta/Facilidad	73
Tabla 4. Estructura de costos para los periodos históricos - Nivel Sistema de Producción.....	74
Tabla 5. Estructura de costos para los periodos proyectados - Nivel Unidad Productiva/Planta/Facilidad	75
Tabla 6. Estructura de costos para los periodos proyectados - Nivel Sistema de Producción.....	76
Tabla 7. Colección de indicadores para la evaluación de la organización de mantenimiento	84
Tabla 8. Colección de indicadores para Comparación/Benchmarking.....	90
Tabla 9. Resumen de relaciones de equivalencia.....	95
Tabla 10. Resumen análisis mensual de la facilidad 1	159
Tabla 11. Resumen análisis anual de los sistemas extracción de crudo y electricidad de la facilidad 1	162
Tabla 12. Resumen proyección de flujos de efectivo calculados con la herramienta computacional MOAT©.....	163
Tabla 13. Resumen indicadores financieros	164

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Carta Certificación Caso de Estudio Piloto	175
ANEXO B. Diseño Inicial de la Interfaz Gráfica.....	176
ANEXO C. Manual del Usuario	199
ANEXO D. Microsoft® Visual Basic® para Aplicaciones (VBA).....	232
ANEXO E. Resumen referencial de data incluida en los diagramas de bloques para análisis estadístico en BlockSIM®.....	239

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA DOCUMENTACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO Y SU IMPACTO FINANCIERO EN LAS ORGANIZACIONES*

AUTOR:

Carlos Alberto Echávez Martínez**

PALABRAS CLAVES:

Sistema de información, organización de mantenimiento, contabilidad de costos, evaluación financiera.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este trabajo de grado consiste en diseñar y desarrollar una herramienta computacional que permita documentar el impacto financiero de la implementación de las mejores prácticas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad en las organizaciones de mantenimiento. Los resultados de la gestión y ejecución de las tareas a cargo de la organización de mantenimiento deben ser documentados con el fin de evaluar el beneficio obtenido de las alternativas de mejora propuestas por parte de la dirección de la empresa.

Como primera actividad en el diseño de la herramienta, se realizó un estudio de la evolución del mantenimiento y de las necesidades que han surgido a medida que el mantenimiento ha evolucionado hacia un enfoque que integra la dimensión técnica con la administración y evaluación financiera.

La investigación realizada permitió establecer cuáles son las variables que deben ser tenidas en cuenta y como debe ser organizada la información con el fin de evaluar la gestión de la organización de mantenimiento teniendo en cuenta el desempeño de los equipos y la contabilidad analítica de gestión que debe analizar la dirección del departamento de operaciones.

El resultado final es una herramienta computacional que satisface las necesidades encontradas en primera instancia, la cual tiene una interfaz amigable y de manejo sencillo, que puede ser usada en concordancia con las herramientas de soporte propias de las organizaciones de mantenimiento y que garantiza que se puedan validar los resultados obtenidos periodo a periodo.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Isnardo González Jaimes. Ing. Luís Fernando Echávez Martínez.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN OF A TOOL FOR THE DOCUMENTATION OF THE MAINTENANCE MANAGEMENT PERFORMANCE AND ITS FINANCIAL IMPACT ON ORGANIZATIONS*

AUTHOR:

Carlos Alberto Echávez Martínez**

KEY WORDS:

Information system, maintenance organization, costs accounting, financial evaluation.

DESCRIPTION:

The goal of this degree work consists of designing and developing a computational tool which allows to document the financial impact of implementing the best practices of maintenance engineering and reliability in maintenance organizations. The results of the management and execution of the tasks in charge of the maintenance organization must be documented in order to evaluate the benefit obtained from the improvement alternatives proposed by the enterprise direction.

At first in the design process of the tool, a study of the evolution of maintenance and the needs that have arisen as the maintenance has evolved into an approach which integrates the technical dimension and the financial administration and evaluation was made.

The research made allowed to establish which variables must be taken into account and how the information must be organized in order to evaluate the management of the maintenance organization considering the assets performance and the analytical costs accounting that must be analyzed by the direction of the operations department.

The final result is a computational tool that meets the needs encountered in the first instance, which has a friendly and easy to use interface, which can be used in concordance with the support tools used in maintenance organizations and that ensures the validation of the results period to period.

*Undergraduate Degree Work

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Eng. Isnardo González Jaimes. Eng. Luís Fernando Echávez Martínez.

INTRODUCCIÓN

Debido al creciente nivel de competitividad en todos los sectores industriales, lo que buscan las empresas en cada una de sus facilidades o plantas de producción es aumentar su eficiencia al adoptar nuevas filosofías para la operación y el mantenimiento de los equipos, esto con el fin de reducir los costos asociados a cada uno de estos dos ítems (O&M Costs).

El papel de la organización de mantenimiento dentro de las plantas industriales está centrado en mejorar la confiabilidad de los equipos y la disponibilidad global de la planta; la tarea principal consiste en identificar las mejores prácticas con el fin de mejorar la gestión y la ejecución de las tareas asociadas a mantenimiento. Agregar un criterio bien estructurado desde el punto de vista financiero a la implementación de alternativas de mejora y de nuevas estrategias de gestión asegura la obtención de resultados que van de la mano con los objetivos de la empresa, es por eso que resulta importante desarrollar modelos que permitan analizar los costos de la ejecución del mantenimiento y realizar proyecciones en función de las variaciones en la escogencia de las estrategias asociadas con la ejecución del mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo, etc.).

Comparar el desempeño de cada una de las organizaciones de mantenimiento en cada uno de los sectores industriales resulta bastante difícil teniendo en cuenta que los contextos de trabajo en cada empresa y en cada planta son únicos (principalmente por las diferencias en las estructuras organizacionales y los parámetros de operación). Sin embargo se pueden evaluar indicadores globales que permitan examinar las circunstancias individuales así como el desempeño en cada escenario o sector industrial dependiendo de la estrategia de mantenimiento y las condiciones de operación.

Este trabajo de grado se centra en el desarrollo de modelos integrales para la evaluación contable y financiera de la gestión del mantenimiento y en la documentación de indicadores que permitan ejecutar análisis comparativo (benchmarking) del desempeño cada uno de los casos específicos. La integración de los modelos antes mencionados en una herramienta computacional permite encontrar los métodos óptimos para la gestión y ejecución del mantenimiento dentro de las empresas con el fin de mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos (gente, insumos, etc.) y por ende ser más competitivos.

Para el diseño y desarrollo de la herramienta computacional, primero se estudió la evolución del mantenimiento, luego se estudiaron los procesos administrativos de la organización de mantenimiento así como la información resultante de los diferentes procesos analíticos que se ejecutan con el fin de planear y asignar recursos a la ejecución de tareas de mantenimiento. Se estudió también la estructura de la información en las llamadas herramientas de soporte, estas permiten llevar un control y registro histórico de la ejecución de las tareas de mantenimiento, los recursos humanos, los recursos técnicos y materiales empleados, etc. Posteriormente se identificaron las variables que deben ser tenidas en cuenta con el fin de organizar la contabilidad analítica de gestión que será analizada por los directivos del área de operaciones (producción y mantenimiento) al igual que los indicadores de gestión y de desempeño que permiten comparar diferentes escenarios de gestión de la organización de mantenimiento.

El resultado final es una herramienta computacional llamada MOAT© la cual permite documentar el desempeño de la gestión de mantenimiento y el impacto de sus resultados en términos financieros, logrando así que se amplíe el alcance de la función de mantenimiento.

1. ENFOQUES Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO¹

Si se estudian de forma conjunta ambas actividades el mantenimiento y la producción; la evolución y el crecimiento de las mismas en las últimas décadas serán mucho más claros, por otra parte, será posible comprender con mayor facilidad sus roles, relaciones y funciones.

A continuación se describen brevemente los diferentes enfoques que han surgido a medida que las necesidades de la organización de mantenimiento y del departamento producción han ido imponiendo diferentes objetivos dentro de las empresas.

1.1 ENFOQUE HACIA LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO

En primera instancia surgen los instrumentos de mantenimiento, se contrata o se capacita al personal propio en cada una de las disciplinas (mecánica, electricidad, electrónica, etc.) con el fin de que ejecute las tareas de mantenimiento las cuales son netamente correctivas y tienen como objetivo principal corregir las fallas que se hayan presentado o poner fin a las paradas imprevistas de planta.

Asociada a las tareas de mantenimiento, se hace necesario contar con instrumentos que permitan sostener los equipos: ordenes de trabajo, almacenes de repuestos e insumos, etc. A medida que la información de almacena, se constituyen las bases de datos.

Solo se practica el mantenimiento correctivo, las piezas y equipos se llevan al límite de su vida útil hasta que se presentan las fallas y estos son recuperados con el fin de que ejecuten su función inicial. Es decir, se reemplaza la pieza

¹MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento: Planeación, Ejecución y Control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p. 13-39.

disfuncional sin llevar a cabo ningún tipo de análisis que permita identificar la causa raíz del problema. Las empresas desarrollan algunas técnicas y tecnologías propias en función de sus productos o los servicios prestados pero la prioridad sigue siendo que el departamento de producción elabore productos o genere servicios.

Posteriormente, los fallos imprevistos se convierten en el principal problema del departamento de producción ya que estos interfieren con el desarrollo normal de sus actividades. A partir de esta nueva premisa este enfoque evoluciona hacia un estado en el cual el objetivo principal es evitar que se presenten paradas repentinas en los equipos, es por eso que en las organizaciones de mantenimiento se empiezan a desarrollar y proponer tareas de prevención y predicción de fallas.

A partir de la aparición de las tareas preventivas, se empiezan a utilizar técnicas y metodologías propias de las acciones planeadas, es decir que la empresa adquiere la destreza necesaria para diferenciar entre las acciones de mantenimiento que se ejecutan antes y después de que el equipo haya fallado.

En orden de ejecución las acciones de mantenimiento se organizan de la siguiente forma: se identifican los equipos, se determinan las tareas específicas para intervenciones planeadas, se definen las recomendaciones de seguridad, se establecen los planes de mantenimiento, se generan las ordenes de trabajo planeadas y no planeadas, se seleccionan y se implementan los mecanismos de manejo y recolección de datos que posteriormente alimentan y constituyen los sistemas de información, se relacionan los equipos con los respectivos repuestos y se concretan los parámetros de subcontratación y administración de proveedores.

1.2 ENFOQUE INTEGRAL DE CREACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Una vez que las empresas son capaces de manejar las acciones de mantenimiento, se interesan en establecer diferentes formas que permitan *administrar* la organización de mantenimiento.

Cuando se habla de estrategia de mantenimiento se hace referencia al análisis y al proceso de toma de decisiones usado con el fin de diseñar los procedimientos de mantenimiento. Más específicamente, cada una de las estrategias se refiere a la forma en que las tareas son planeadas o programadas.

Existen tres estrategias básicas de mantenimiento que pueden ser aplicadas:

- ✓ Mantenimiento correctivo (run-to-failure) - no planeado
- ✓ Mantenimiento preventivo - basado en el tiempo de operación
- ✓ Mantenimiento predictivo - basado en la condición de los activos

Adicionalmente, se empiezan a medir los resultados con el fin de establecer qué tan bien se están ejecutando las tareas mantenimiento. Entre las actividades que hacen parte de este enfoque es posible destacar: establecimiento de un sistema de costeo propio de mantenimiento, implementación del registro histórico de fallas y reparaciones y el establecimiento de sistemas de medición bajo parámetros propios o en base a estándares internacionales. Así mismo, los resultados de la gestión y la operación de la organización de mantenimiento propia empiezan a ser comparados con empresas similares con el fin de establecer el nivel de éxito logrado. En general, se procura controlar todas las decisiones tomadas y acciones realizadas.

En este enfoque lo más importante para el departamento de producción es maximizar la explotación y la combinación de sus factores productivos. En esta instancia la organización de mantenimiento se constituye como una unidad independiente del departamento de producción, cuya función es de apoyo logístico a producción y/o manufactura.

1.3 ENFOQUE HACIA LA ORGANIZACIÓN TÁCTICA DE MANTENIMIENTO

Cuando las empresas alcanzan la madurez para el manejo real y conceptual de las posibles acciones de mantenimiento, empiezan a adoptar una estructura para el desarrollo secuencial, lógico y organizado del conjunto de acciones de mantenimiento que aplican en cada caso específico.

La gestión y la operación del mantenimiento se basan en un sistema organizado o metodología* entre las que cabe destacar: RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad, por sus siglas en inglés), PMO (optimización del mantenimiento planeado, por sus siglas en inglés), etc. En algunos casos las empresas simplemente adoptan una metodología propia que reúne las mejores prácticas de varias de ellas.

El área de operaciones busca mejorar la competitividad de su producción y su organización de mantenimiento razón por la cual define estrategias que permitan controlar de forma integral todas las actividades de mantenimiento, los quipos y la gestión. Se involucran los directivos y demás áreas corporativas de la empresa con el objetivo de lograr una mayor eficacia productiva y lograr una reducción de costos significativa. Se establecen metas alcanzables así como los métodos de verificación del cumplimiento de compromisos.

*Conjunto de reglas para desarrollar actividades de mantenimiento en empresas de servicios o de procesos industriales.

1.4 ENFOQUE HACIA LAS HABILIDADES Y COMPETENCIAS DE MANTENIMIENTO

Este enfoque se caracteriza por el desarrollo de habilidades y competencias en todo el personal que trabaja en la organización de mantenimiento. En general, la empresa procura consolidar o fortalecer todas las áreas relacionadas con el mantenimiento y la producción, al mismo tiempo que se desarrollan herramientas que permiten soportar y analizar la información relacionada con la ejecución de cada una de las tareas de mantenimiento, es decir, que surge la necesidad de implementar los sistemas de información de mantenimiento y producción.

Se implementa una estrategia de mantenimiento integral basada en procesos, donde se analizan las actividades y el macro-proceso de mantenimiento mediante el cálculo de indicadores de calidad, de eficiencia, de costos de ejecución, etc.

El departamento de producción implementa técnicas avanzadas de control como *lean production*, manejo de inventarios, suministro de materiales justo a tiempo, pronósticos de demanda, etc. Y todas aquellas mejores prácticas que traigan consigo un aumento de la productividad, la rentabilidad, la competitividad; todo con base en una producción ajustada a la demanda impuesta.

Sucede que las empresas han adquirido la experiencia y el conocimiento suficiente, así mismo han desarrollado tecnologías propias que permiten integrar y alinear el trabajo de mantenimiento y producción por completo. Lo anterior en aras de optimizar el bien común que las relaciona, que es la máquina, pues esta deja de ser vista como un pasivo que hay que utilizar para generar bienes y por consiguiente se debe mantener para que permanezca funcional, y pasa a entenderla como un activo físico productivo que genera ingresos para la organización.

1.5 ENFOQUE HACIA LA GESTIÓN DE ACTIVOS

En el momento que la organización desarrolla una metodología capaz de integrar todos y cada uno de los enfoques anteriores, se evoluciona hacia lo que se conoce como *gestión de activos*.

Los *activos físicos* hacen referencia a las instalaciones o al parque industrial y, a las máquinas o equipos. En algunos casos se hace referencia a los *activos físicos productivos* para referirse a las máquinas o equipos. Con el fin de evitar confusiones y manejar un lenguaje sencillo, en este documento se hará referencia a máquinas o equipos para referirse a los activos físicos productivos los cuales constituyen el centro de atención de la organización de mantenimiento.

La gestión de activos permite aplicar todo el conocimiento y las mejores prácticas aprendidas con el fin de manejar con flexibilidad y éxito los equipos. Se debe producir una transformación empresarial que conduzca a alcanzar el nivel de gestión de activos, esta transformación requiere, entre otras, que todas las acciones de mantenimiento generen un aumento de la capacidad de producción, del valor agregado y que cada día se conquiste más el mercado potencial.

Algunas de las formas para evolucionar hacia la gestión de activos incluyen:

- ✓ El rediseño de procesos al estudiar en forma detallada las acciones de mantenimiento, ¿cómo?, mediante el análisis y evaluación estadística de la información o al desarrollar el conocimiento necesario para mejorar las actividades de reparación o intervenciones de mantenimiento. Lo anterior se manifiesta en una reducción de los tiempos (correctivos, preventivos, predictivos, de espera de recursos, etc.) que impiden la función principal de los equipos, lo que a su vez redundaría en costos más bajos y menor requerimiento de capital de trabajo.

- ✓ La mejora de los indicadores RAM (confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, por sus siglas en inglés) mediante estudios y acciones que conduzcan al engrandecimiento del tiempo operacional sin fallas o sin reparaciones.

Se busca principalmente eliminar las fallas, reducir los tiempos de reparación y el mantenimiento planeado, esto último mediante un incremento de los tiempos entre la ejecución de actividades planeadas. También se pretende eliminar o disminuir en gran proporción los tiempos logísticos requeridos para mantenimiento o producción.

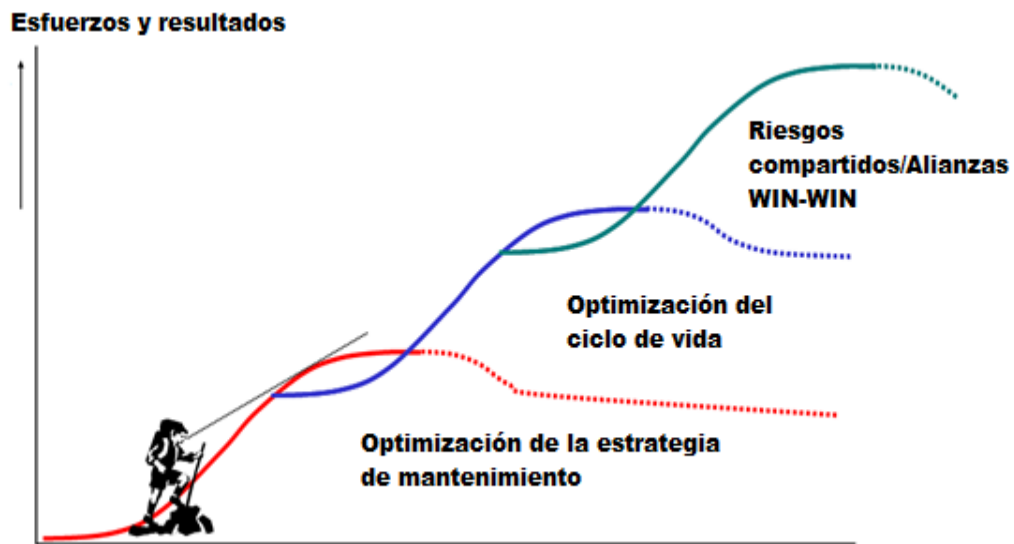
En la industria europea se originó la idea de que la gestión de activos hace parte de la administración de las empresas, entonces, ¿Qué hay de nuevo en la gestión de activos asociada a mantenimiento? La respuesta emergió de forma inmediata y hace referencia a que se debe demostrar como el mantenimiento agrega valor a la empresa, es decir, que su gestión es optimizada, integrada y sostenible.

¿Cómo se identifica y demuestra que la organización de mantenimiento provee una gestión integrada, optimizada y que controla los riesgos de los equipos, humanos, intelectuales y financieros que hace parte de la empresa? Este tipo de interrogantes obligó a reevaluar los modelos de negocio, se desarrollaron unidades de negocio dinámicas y emergieron nuevas fuentes de ingresos en las que la medición del desempeño (de la producción, del servicio al cliente, por ejemplo) y la responsabilidad del “cuidado” de las inversiones y equipos (compras, ingeniería, *mantenimiento*, etc.) se juntan en equipos multidisciplinarios.

El gran cambio que ha ocurrido en el mundo de la gestión de activos europeo es la comprensión de que un enfoque alternativo es posible y que este trae consigo grandes mejoras que son al mismo tiempo sostenibles.

Esto es, el reconocimiento de que las mejoras acumulativas e iterativas deben estar ligadas en una forma planeada. Lo anterior se logra si todos en la empresa trabajan en la misma dirección y con la misma filosofía, como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 1. Enfoque integrado de gestión de activos: escalando la montaña juntos



Fuente: WOODHOUSE, John. Putting the total jigsaw puzzle together: PAS 55 standard for the integrated, optimized management of assets. En: International Maintenance Conference (21: 2006: Fort Myers, FL). Memories. Fort Myers: Reliability Web, 2006. 12 p.

Las consecuencias y resultados del enfoque colaborativo, basado en equipos de trabajo son visibles: las operaciones de explotación off-shore de BP PLC, por ejemplo, producían petróleo con un costo aproximado de US\$15/barril en los años ochenta, hacia el año 2007 se lograba producir el mismo barril de petróleo en condiciones más extremas, con mayor seguridad y con estándares ambientales por US\$2/barril.

Shell logró un incremento del 17% en la producción total a lo largo de cuatro años al mismo tiempo que los costos de operación se redujeron en un 50%².

1.5.1 La terotecnología

Hacia 1976, los autores de Inglaterra M. Husband y Dennis Parkes, desarrollaron e introdujeron un concepto integrador que revolucionó la gestión y ejecución de mantenimiento: *la terotecnología*.

La terotecnología consiste en la obtención de información acerca de los equipos y de su desempeño, la cual debe incluir: tendencias de productividad, costos, disponibilidad, causas de fallas, funcionamiento y severidad de los tipos de falla. El análisis de dicha información ayudará a determinar la causa de los problemas y conllevará a adoptar acciones apropiadas que permitan reducir o eliminar dichos problemas en los procesos.

Esta concepción involucra los costos de la gestión de mantenimiento bajo la orientación del *LCC* (Costo del Ciclo de Vida, por sus siglas en inglés), definido en la Norma Británica BS 3811 como una combinación de dirección, finanzas, ingeniería, construcción y otras prácticas aplicadas con el fin de determinar el costo de vida económico de los equipos. El término *LCC* denota también, la integración de todos los esfuerzos de las etapas de fabricación, producción, explotación, mantenimiento y operación integral bajo un enfoque de costos.

La terotecnología es una alternativa técnica capaz de combinar los medios financieros, estudios de confiabilidad, evaluaciones técnico-económicas y métodos

²WOODHOUSE, John. Putting the total jigsaw puzzle together: PAS 55 standard for the integrated, optimized management of assets. En: International Maintenance Conference (21: 2006: Fort Myers, FL). Memories. Fort Myers: Reliability Web, 2006. 12 p.

de gestión para obtener ciclos de vida de los equipos cada vez menos dispendiosos y costosos.

La tendencia es que el mantenimiento llegue a adquirir la dimensión de una estrategia corporativa de aplicación mundial que conduzca a una manufactura ágil, que implique alta confiabilidad de los equipos, que labore bajo el concepto de servicio al cliente en los momentos oportunos con la mayor disponibilidad posible y que permita que los precios de los servicios de mantenimiento sean competitivos.

1.5.2 El estándar PAS 55:2008 y la nueva familia de estándares ISO 5500X

En el año 2002, las empresas notaron que a partir del surgimiento de nuevas unidades de negocio, como lo es la organización de mantenimiento, y de los retos que implicaban la integración y optimización de todas las unidades; se impuso la necesidad de establecer cierta claridad y guía relacionada con los sistemas de gestión de activos. A través del Instituto Británico de Gestión de Activos IAM (por sus siglas en inglés) y el Instituto Británico de Estándares BSI (por sus siglas en inglés), se desarrolló la primera “Especificación Disponible al Público” o “Publicly Available Specification (PAS)” en inglés; para la gestión integrada, optimizada y sostenible de equipos.

El estándar PAS 55 es una lista de chequeo conformada por 28 puntos de requerimientos que permiten implementar y auditar un sistema de gestión de activos. El sistema de gestión de activos no hace referencia a lo que conoce comúnmente como sistema de información de mantenimiento, un sistema de información es una herramienta de software que *soporta* la gestión y ejecución del mantenimiento. El estándar se divide en dos partes; en la primera se especifican los requerimientos (PAS 55-1), y la segunda constituye guía de implementación de los requerimientos especificados en la primera parte (PAS 55-2).

La *gestión de activos* es definida en el estándar PAS 55-1 así:

“Todas aquellas actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas a través de las cuales una organización administra de manera óptima sus equipos y su desempeño asociado, los riesgos y los gastos durante sus ciclos de vida útil con el propósito de cumplir el plan estratégico organizacional”³.

El estándar PAS 55 será reemplazado a partir del 2014 por la nueva familia de estándares ISO 5500X; este fue utilizado como referencia por la Organización Internacional de Estándares (ISO, por sus siglas en inglés) para el desarrollo y formalización del primer estándar internacional de gestión de activos. La familia de estándares ISO 5500X fue publicada durante el mes de enero del año 2014 así:

- ✓ ISO 55000:2014 Asset management. Overview, principles and terminology. Proporciona una visión global, conceptos y terminología en gestión de activos.
- ✓ ISO 55001:2014 Asset management. Management systems. Requirements. Especifica los requerimientos para las buenas prácticas en gestión de activos.
- ✓ ISO 55002:2014 Asset management. Management systems. Guidelines for the application of ISO 55001. Proporciona una guía para la interpretación e implementación de un sistema de gestión de activos con el fin de lograr el mejor retorno posible de la inversión en equipos mientras se reduce el costo de operación.

³INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT y BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for the optimized management of physical infrastructure assets. PAS 55-1. 2 ed. London, United Kingdom: BSI, 2008. p. 3.1.

La familia de estándares ISO 5500X también se alineará e integrará con otras especificaciones de sistemas mayores de gerencia, de manera que pueda establecerse un enfoque integrado para las buenas prácticas en todos los aspectos claves de las operaciones profesionales. Estos incluyen ISO 9001 para la gerencia de calidad, ISO 14001 para la gerencia ambiental, OHSAS 18000 para salud ocupacional y seguridad, e ISO 31000 para la gerencia de riesgos.

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Se desea ampliar el alcance de la medición del desempeño de los servicios de la función de mantenimiento mediante el diseño de una herramienta computacional que permita evaluar, cuantificar y documentar financieramente los resultados del trabajo analítico que se lleva a cabo con el objetivo de optimizar los procesos de mantenimiento de los equipos de las empresas.

Una vez la organización de mantenimiento ha alcanzado un nivel de madurez tal que ejecuta actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas con el fin de administrar de manera óptima sus equipos como son: planeación y programación de recursos, análisis de confiabilidad y eliminación de fallas, revisiones de los planes de mantenimiento, simulaciones de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad y, análisis de indicadores; debe existir la posibilidad de cuantificar el impacto real en términos de contabilidad de costos y financieros de los resultados obtenidos a medida que se plantean alternativas de mejora en la ejecución de las tareas propias de mantenimiento, es decir, se debe evolucionar hacia un enfoque en el que se combine la gestión técnica con la administración (contable y financiera) logrando así ser más eficientes y por consiguiente, más competitivos.

La herramienta computacional representa un beneficio más para las empresas en términos económicos y gerenciales, al mismo tiempo que se aporta consistencia a los procesos de trabajo, competencias de las personas y herramientas tecnológicas de soporte teniendo en cuenta que estos son los tres elementos sobre los que se debe tener especial atención para asegurar una mejora considerable en el desempeño al mismo tiempo que el aumento de las utilidades del negocio sea sostenible.

1.7 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.7.1 Objetivo general

- ✓ Desarrollar una herramienta informática que permita documentar el impacto financiero de la implementación de las mejores prácticas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad en las organizaciones de mantenimiento, las cuales permiten obtener resultados validables y medibles, ratificando con esto el compromiso que tiene la Universidad Industrial de Santander con el progreso de la Industria Colombiana.

1.7.2 Objetivos específicos

- ✓ Diseñar y elaborar una herramienta informática que permita a los directivos del área de operaciones (producción y mantenimiento) de las empresas:
 1. Analizar los indicadores inherentes a la ejecución de las tareas de mantenimiento y confiabilidad. Se debe disponer del mayor número posible de variables asociadas a la gestión como: horas no productivas, horas correctivo, horas preventivo, horas predictivo, horas de parada de planta, costo de repuestos, costo directo e indirecto total de mantenimiento, etc.

2. Comparar escenarios probables de distintas estrategias de mantenimiento y confiabilidad y su impacto en términos económicos a través de la organización.
 3. Categorizar los costos de acuerdo a diferentes conceptos como: costos de mantenimiento correctivo, costos de mantenimiento preventivo y costos mantenimiento predictivo.
 4. Determinar la proyección de los beneficios financieros en la operación después de haber implementado los planes de mejora basados en las mejores prácticas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad.
 5. Hacer análisis comparativo, mediante benchmarking, del estado actual del desempeño de los equipos con respecto a criterios documentados y aceptados a nivel mundial.
- ✓ Elaborar un análisis piloto para poner a prueba la herramienta desarrollada a lo largo del proyecto de grado en alguna organización de mantenimiento a nivel nacional.
 - ✓ Desarrollar manuales de procedimientos e instructivos con el objetivo de llevar a cabo un proceso de retroalimentación y mejora con los directivos del área de operaciones en las empresas.

2. CONCEPTOS GENERALES SOBRE MANTENIMIENTO⁴

2.1 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Existen muchas definiciones con respecto a lo que se conoce como una *estrategia de mantenimiento*. Anteriormente se estableció que cuando se habla de estrategia de mantenimiento se hace referencia al análisis y al proceso de toma de decisiones usado con el fin de diseñar los procedimientos de mantenimiento. Más específicamente, cada una de las estrategias se refiere a la forma en que las tareas son planeadas o programadas.

Una estrategia de mantenimiento define las reglas para la secuencia del trabajo de mantenimiento planeado. En general, una estrategia de mantenimiento la constituyen las decisiones que adoptan los responsables de la gestión de una planta o facilidad productiva en aras de dirigir las tareas de mantenimiento.

Mediante la implementación de una estrategia de mantenimiento se busca que los equipos estén siempre en condiciones funcionales cuando se requiera, durante el tiempo necesario para operar con los requisitos técnicos y tecnológicos exigidos para la producción de bienes o servicios, que satisfagan los requerimientos en cuanto a calidad, cantidad y tiempo, al menor costo posible y con las mejores condiciones de productividad y competitividad.

En la práctica existen dos tipos o formas de hacer mantenimiento:

El *mantenimiento reactivo* es el conjunto de actividades o tareas ejecutadas en los sistemas, maquinas o instalaciones cuando debido a una falla se requiere recuperar la función principal para la cual fueron concebidos. Tal y como lo indica

⁴ GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial: Principios Fundamentales. Bogotá D.C.: Ediciones de la U, 2012. p. 51-72.

su nombre, las actividades de mantenimiento reaccionan a las fallas y se ejecutan para corregirlas.

El *mantenimiento proactivo* lo constituyen actividades o tareas completamente opuestas a las actividades reactivas, en este caso las actividades de mantenimiento se ejecutan antes de que el equipo falle. La prevención de las fallas se logra a través de inspecciones, acciones preventivas y predictivas. El objetivo del mantenimiento proactivo es anticiparse a la probabilidad de ocurrencia de fallas.

Aunque existen diversas estrategias que caen dentro de las categorías reactiva o proactiva, sobresalen tres por su mayor grado de utilización. Estas se han establecido como los sistemas básicos para la ejecución de tareas de mantenimiento y son:

- ✓ Mantenimiento correctivo (CM)
- ✓ Mantenimiento preventivo (PM)
- ✓ Mantenimiento predictivo (PdM)

Todas las estrategias de mantenimiento son sistemas mixtos que utilizan las tres metodologías básicas listadas dependiendo del desarrollo de los procesos de gestión, y a su vez agrupan varias herramientas elementales que se denominan metodologías para la optimización de la estrategia de mantenimiento dentro de un adecuado sistema de gestión de activos. Algunas de las técnicas para la optimización de la estrategia de mantenimiento serán definidas más adelante.

A continuación se describen brevemente los sistemas básicos para la ejecución de tareas de mantenimiento:

2.1.1 El mantenimiento correctivo (CM)

El mantenimiento correctivo son todas las actividades o tareas ejecutadas para corregir las causas de fallas en los equipos, maquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar el servicio para el cual fueron diseñados y construidos.

Toda tarea de naturaleza correctiva exige respuesta y atención inmediata de parte del personal encargado de ejecutar las tareas de mantenimiento razón por la cual estas no pueden ser programadas y, son gestionadas y controladas por medio de reportes que indican que la máquina se encuentra fuera de servicio. En todos los casos el personal debe ejecutar los trabajos indispensables para que la máquina siga prestando el servicio y garantizar que se reduzca al mínimo el tiempo de parada y las pérdidas de producción ocasionadas por la falla.

2.1.2 El mantenimiento preventivo (PM)

El mantenimiento preventivo son todas las actividades o tareas ejecutadas en los equipos, maquinas, instalaciones o edificios antes de presentarse una falla. También puede concebirse como el conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento, las cuales permiten que el equipo continúe operando de forma segura, y ejecutadas con el objeto de prevenir las fallas o paros imprevistos.

A menudo se considera el mantenimiento preventivo como sinónimo del mantenimiento periódico, planeado, sintomático, dirigido o continuo. Este sistema de ejecución de actividades o tareas de mantenimiento surgió de la necesidad de

reducir el costo del mantenimiento correctivo y todo lo que representa ya que el mantenimiento correctivo no solo genera costos de personal y repuestos sino que genera pérdidas de producción significativas. Los costos del lucro cesante o pérdidas de producción son, en la gran mayoría de los casos, mucho mayores en comparación con los costos directos asociados con las tareas de mantenimiento (recurso humano, repuestos, servicios, etc.).

El objetivo del mantenimiento preventivo es asegurar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los sistemas productivos mediante la aplicación de un plan eficaz.

2.1.3 El mantenimiento predictivo (PdM)

El mantenimiento predictivo se define como el conjunto de actividades programadas para detectar las fallas de los equipos por revelación antes de que sucedan, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando aparatos de diagnóstico y pruebas no destructivas.

El mantenimiento predictivo también se conoce como *mantenimiento basado en condición* (CBM, por sus siglas en inglés). La aplicación de este tipo de mantenimiento ha venido en aumento durante los últimos años como complemento los sistemas correctivos y preventivos debido, entre otros, al desarrollo de los instrumentos de medición y diagnóstico, a los altos costos de reparación y reposición de equipos y al alto grado de conciencia que se ha creado en torno a los tiempos improductivos.

El mantenimiento predictivo basado en el uso y características de los sistemas y, en la implementación de diagnósticos que permitan el análisis de fallas, es la consecuencia de la responsabilidad del cuidado de las inversiones en activos (vida económica de los equipos) y la minimización de paradas de las paradas de planta.

2.1.3.1 Mantenimiento predictivo vs. Mantenimiento preventivo

Resulta claro que los costos de adquisición, reparación y reemplazo, así como la interdependencia de la maquinaria en los procesos productivos, han obligado a que el nivel de protección de esta sea una prioridad en las organizaciones de mantenimiento. Es decir, que las máquinas siempre deben operar en condiciones óptimas y deben ser sacadas de la operación única y exclusivamente cuando sea indispensable o necesario. Surge entonces la necesidad de detectar los problemas que puedan acarrear fallas antes de que se agudicen.

Como una actividad básica de protección de la maquinaria se introdujo hace mucho tiempo la metodología preventiva, que como ya se sabe consiste en inspeccionar periódicamente las máquinas, en lapsos de tiempo estimados con base en estadísticas y como consecuencia de la observación y experiencia del personal de mantenimiento. Sin embargo, para que la inspección permita determinar el estado real de funcionamiento del equipo y se puedan identificar las fallas, es indispensable que esta sea abierta, lo que en muchos casos se convierte en un inconveniente grande para el proceso productivo. Estos inconvenientes no se presentan en el mantenimiento predictivo.

En las inspecciones preventivas aun cuando la máquina está operando en condiciones aceptables, se desarma y se vuelve a armar. Se ha demostrado que en muchos casos se incluyen defectos que inicialmente la máquina no tenía y que dan origen a fallas prematuras que no se hubieran presentado si no se realiza la inspección. La implementación de diagnósticos predictivos y el uso de instrumentos de análisis, permite evadir este tipo de problemas y se evitan las paradas preventivas, así se protegen los equipos en términos de disponibilidad productiva.

El aspecto más importante a tener en cuenta en esta comparación, es el relacionado con los costos de ejecución e inventario de repuestos. En el mantenimiento preventivo, sucede que muchas piezas son cambiadas antes del término de su vida útil segura con el objetivo de prevenir fallas lo cual trae consigo un aumento considerable del inventario de repuestos.

En el mantenimiento predictivo el recambio de piezas se realiza acertadamente solo cuando estas están próximas a fallar, es decir, que se logra su máxima utilización lo cual permite que el costo de inventario de repuestos se reduzca. Por otra parte, en el mantenimiento preventivo se tiene la tendencia a realizar mantenimiento excesivo si se tienen disponibles los recursos o realizar inspecciones superficiales (por falta de personal o cuando el mismo no está debidamente capacitado), dando pie a que se presenten fallas imprevistas. En el mantenimiento predictivo, las tareas se programan con suficiente anticipación y se asignan los recursos estrictamente necesarios, es decir, que los costos de ejecución se reducen con respecto a la metodología preventiva.

Con esta comparación no se pretende poner una cruz sobre la metodologías preventiva y correctiva o sugerir que en una organización de mantenimiento solo se deben ejecutar tareas de naturaleza predictiva, sino presentar algunas ventajas que permitirán operar las facilidades y/o plantas productivas de forma eficiente y logrando una disminución de costos importante. Los encargados de la gestión de la organización de mantenimiento deben planear la ejecución de las tareas y asignar los recursos con base en criterios bien documentados y soportados en aras de encontrar un balance entre el costo de ejecución y el beneficio en términos de aumento de la capacidad productiva.

2.2 PLANES DE MANTENIMIENTO

Los planes de mantenimiento constituyen la contraparte de los planes operativos y proporcionan los lineamientos de todos los aspectos de la función de mantenimiento requeridos para mantener los equipos a lo largo de su ciclo de vida útil. Son mucho más que una simple lista de tareas de mantenimiento preventivo o predictivo.

En los planes de mantenimiento se especifican todas las tareas requeridas:

- ✓ Preventivas
- ✓ Predictivas
- ✓ Overhauls

También se especifican otros aspectos importantes como son: los intervalos o lapsos de tiempo para la ejecución de las tareas de mantenimiento en los equipos, la duración de dichas tareas, que habilidades o capacidades debe tener el personal encargado de la ejecución de las tareas planeadas así como la dotación, herramientas y materiales necesarios.

Con base en la definición de los planes de mantenimiento, se puede establecer que estos definen los siguientes aspectos de la organización de mantenimiento:

- ✓ Estructura
- ✓ Las competencias, habilidades y características del recurso humano
- ✓ El personal de soporte requerido
- ✓ Las herramientas, repuestos, materiales y consumibles necesarios
- ✓ La infraestructura
- ✓ **El presupuesto de mantenimiento**

2.3 MANTENIMIENTO: GESTIÓN Y EJECUCIÓN

El término *gestión* se relaciona con la dirección de las empresas, aplicada a un sistema técnico y social cuya función básica es la producción de bienes o servicios que contribuyen a mejorar la calidad de vida de los clientes.

La palabra *empresa* se define como un conjunto conformado por el recurso humano, máquinas, recursos tecnológicos, información, planeación y recursos financieros que procura alcanzar unos objetivos establecidos con antelación (eficacia y eficiencia), mediante el uso adecuado de los recursos disponibles (eficiencia) a la vez que opera de manera sostenible. La gestión es el integrador que permite el cumplimiento y/o logro de estas premisas.

La eficiencia con la que la organización de mantenimiento aporta a la consecución de los objetivos planteados en la empresa mediante la dotación de capacidades y el aumento de la confiabilidad del parque industrial, se hace notar al maximizar la disponibilidad de los equipos y la disponibilidad global de la planta.

La gestión de una empresa se refiere a su administración y está relacionada con la clasificación que hace Fayol: planear, organizar, dirigir, coordinar y controlar, las cuales se sintetizan por las escuelas modernas de gestión en: planear, ejecutar y controlar.

En mantenimiento es importante reconocer dos aspectos básicos: la gestión y la ejecución, que también se conoce como operación. La primera se refiere al manejo y administración de los recursos, a su planeación y a su control, mientras que la segunda es la realización física o ejecución del servicio de mantenimiento.

La gestión de mantenimiento debe enfocarse en dos direcciones: una de ellas es la gestión que realiza la organización de mantenimiento con los demás departamentos o unidades de negocio con miras a lograr el cumplimiento de los objetivos de la empresa y el segundo nivel en la gestión integral e interna, propia de la organización o departamento. Es necesario que se establezcan sistemas de gestión y ejecución mediante procesos y, apoyarse en herramientas de soporte como son los sistemas de información de mantenimiento los cuales permiten manejar y controlar las actividades o tareas inherentes a mantenimiento.

La implementación de un sistema de gestión o proceso sistemático requiere que la organización de mantenimiento se constituya con una gerencia, de tal forma que sea posible planear de forma detallada y global las rutas de actividades y, utilizar el sistema de información para definir de forma anticipada todos los servicios y recursos necesarios para la ejecución del mantenimiento. Se deben conformar grupos de profesionales para el análisis de los resultados de la gestión y ejecución del mantenimiento mediante sistemas de monitoreo y de control de la gestión global, incluidos los costos e indicadores lo cual permitirá que el proceso de mejora sea continuo.

Las limitaciones de la organización de mantenimiento varían con el tipo de industria, es claro que en algunos sectores industriales debido al nivel de tecnificación que manejan y al músculo financiero de las empresas, las inversiones en mantenimiento se comparan con la de otras unidades de negocio de gran importancia como producción o compras. En otros sectores el nivel de conciencia de la organización de mantenimiento es muy bajo y no se lo ve como una fuente de beneficios económicos.

El esquema moderno de mantenimiento implica la inclusión de herramientas de gestión avanzada, el concepto de administración integral se basa en la utilización de forma eficaz y eficiente de los recursos y factores productivos.

La organización de mantenimiento concebida como una fuente de beneficios económicos para la empresa, deja de trabajar bajo el enfoque de manejar un presupuesto a tener que generar recursos económicos (o buscar sus propios ingresos) con el fin de que sea posible sustentar como todos los procesos analíticos y las alternativas de mejora propuestas generan valor a la empresa.

La concepción de gestión avanzada de la organización de mantenimiento constituye la justificación para la elaboración de este proyecto de grado con miras a documentar el impacto real en términos económicos de los resultados de la gestión y ejecución del mantenimiento.

2.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDA POR COMPUTADORA

El objetivo de los sistemas de información o herramientas de software para mantenimiento es soportar de manera eficiente y rentable, la gestión de todas las actividades de mantenimiento incluyendo:

- ✓ Registro y conteo de las ordenes de trabajo
- ✓ Planeación y programación
- ✓ Control de inventarios
- ✓ Obtención de recursos y materiales
- ✓ El reporte de datos y alarmas

La información constituye un punto neurálgico en la gestión y ejecución del mantenimiento, y además es necesaria para determinar el estado y la escogencia de la estrategia de mantenimiento adecuada. De ahí la importancia de poder implementar este tipo de herramientas de soporte en la organización de mantenimiento.

Los términos EAM y CMMS son usados de forma alterna en la industria para referirse a los sistemas de información de mantenimiento. El primero hace referencia sistemas computaciones de gestión de activos empresariales (Enterprise Asset Management), y el segundo a sistemas computacionales integrales de gestión y operación de mantenimiento (Computerized Maintenance Management System). Ambos son reconocidos como herramientas de soporte para el mejoramiento del desempeño de la función de mantenimiento.

Los sistemas de información de mantenimiento proporcionan un soporte gerencial ideal para establecer programas de gestión y control de mantenimiento. Los responsables de la organización de mantenimiento confían en los sistemas de información al momento de recolectar datos y transformarlos en conocimiento, es decir, sirven de soporte en la toma de decisiones del negocio de mantenimiento relacionadas con inversiones en equipos, asignación de recursos técnicos, humanos y materiales.

Mediante la implementación y uso de los sistemas de información o herramientas de software para mantenimiento es posible mejorar en los siguientes aspectos:

- ✓ Reducción de los costos de mantenimiento - proveen medios de revisión y análisis de los datos históricos (horas hombre totales, costo de materiales, servicios, etc.).
- ✓ Disponibilidad de planta - proveen detalles sobre los modos de fallas más comunes los cuales pueden ser usados to solucionar problemas potenciales.
- ✓ Manejo y administración de recursos - permiten optimizar la planeación y programación, por ende mejorar la productividad del recurso humano.

- ✓ Administración de materiales - mediante el control de inventarios y pedidos es posible mejorar el uso de repuestos y herramientas.
- ✓ Políticas de mejoramiento continuo - el control de todos los aspectos listados anteriormente contribuye al mejoramiento del desempeño de mantenimiento en todos los sistemas productivos y por ende a un mejoramiento del desempeño global de la planta.

2.5 METODOLOGÍAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO: LA INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

El marco teórico en el cual conviven las metodologías necesarias para lograr la optimización del mantenimiento de los equipos se conoce como *ingeniería de confiabilidad* y esta se basa en el concepto de la *confiabilidad operacional*.

El término *confiabilidad operacional* se define como un conjunto de procesos de mejora continua que incorporan en forma sistemática, herramientas avanzadas de diagnóstico, estrategias modernas y metodologías de análisis implementadas con el fin de optimizar la gestión, la planeación, la ejecución y el control de la producción industrial⁵.

La confiabilidad operacional aplica las metodologías modernas del mantenimiento, considerando su influencia en las mejores prácticas de gestión de activos. Se basa en el análisis de condición y en análisis estadísticos orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Con la realización del análisis de confiabilidad se pretende eliminar por completo las actividades correctivas no planeadas y altamente costosas, por acciones

⁵AMENDOLA, Luis. Modelos mixtos en la gestión del mantenimiento. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia: Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación, 2003.

preventivas programadas que dependan de diagnósticos objetivos de la situación actual y de los datos históricos de los equipos.

2.5.1 Herramientas de la confiabilidad

Esta metodología de análisis se basa en una serie de herramientas que permiten evaluar el comportamiento de los equipos de una forma sistemática, con el objeto de determinar el nivel de operatividad, los riesgos y las acciones que permitan mitigar dichos riesgos. Algunas de las herramientas que permiten formular planes estratégicos para alcanzar la excelencia en la gestión y ejecución del mantenimiento son:

- ✓ Análisis de criticidad
- ✓ Análisis de los modos y efectos de falla
- ✓ Análisis causa raíz
- ✓ Análisis de integridad mecánica
- ✓ Análisis de series temporales
- ✓ Análisis seis sigma
- ✓ Costo del ciclo de vida

2.5.2 Relaciones entre el mantenimiento, la producción y los equipos

El mantenimiento, la producción y los equipos se relacionan entre sí a partir de normas genéricas: la relación entre la producción y los equipos la establecen los principios de *confiabilidad*; la relación entre el mantenimiento y los equipos se define por las reglas de la *mantenibilidad* y, la relación entre el mantenimiento y la producción es indirecta; esta se da a través de los equipos y está gobernada por los principios de la *disponibilidad*.

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis y su evaluación. La confiabilidad se asocia a fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad a la posibilidad de producir bienes o servicios. Por medio de estas es posible planear, organizar, ejecutar y controlar totalmente la gestión y la ejecución del mantenimiento.

¿Cómo se miden? La confiabilidad se mide a partir del número y duración de las *fallas* (tiempos útiles, reparaciones, etc.). La mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las *reparaciones* (mantenimientos planeados) y la disponibilidad se mide (o se obtiene por cálculo y deducción matemática) a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

Todas las metodologías necesarias para lograr la optimización de las estrategias de mantenimiento (algunas definidas a continuación), se fundamentan a partir de indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, los cuales proveen los principios básicos estadísticos y proyectivos de las dos manifestaciones principales de mantenimiento: *fallas* y *reparaciones*, es decir, la forma óptima de controlar el mantenimiento y sus implicaciones es a través del componente confiabilidad y sus parámetros asociados.

Los indicadores de gestión y desempeño serán definidos más adelante. El objeto del presente capítulo es describir las metodologías que permiten evolucionar hacia una gestión y ejecución del mantenimiento óptima.

2.5.3 Metodologías de la confiabilidad

Para la implementación de un programa de confiabilidad basado en el análisis de indicadores e información histórica, se debe establecer un plan estratégico.

El programa debe iniciar con la revisión y la planeación de las actividades y concluir con la integración de las diversas herramientas listadas anteriormente. Existen diferentes metodologías con las que se pretende mejorar las actividades referentes al mantenimiento, entre las que cabe destacar:

- ✓ Mantenimiento basado en condición (CBM)
- ✓ Mantenimiento productivo total (TPM)
- ✓ Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)
- ✓ Optimización del mantenimiento planeado (PMO)
- ✓ Análisis y modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM)

Dentro de estas metodologías, a continuación se describen las tres principales que sirven de soporte a los programas de confiabilidad operacional⁶.

2.5.3.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

La definición formal del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) fue propuesta en la norma SAE-JA1011 editada en agosto de 1999 así: “El *mantenimiento centrado en confiabilidad* es una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo de trabajo multidisciplinario, se encarga de optimizar la *confiabilidad operacional* de un sistema productivo, que funciona bajo condiciones de operación definidas, estableciendo las actividades más efectivas en función de la criticidad de los equipos pertenecientes a dicho sistema, considerando los posibles efectos que originan los modelos de fallas de estos equipos, en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales”⁷.

⁶ GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial: Principios Fundamentales. Bogotá D.C.: Ediciones de la U, 2012. p. 103-105.

⁷ SOCIETY FOR AUTOMOTIVE ENGINEERS. Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. SAE-JA1011:1999. Warrendale, PA, United States: SAE, 1999.

El RCM es una metodología desarrollada por la industria de la aviación civil en los Estados Unidos. Su fin principal es ayudar al personal de mantenimiento, a determinar las mejores prácticas para garantizar la confiabilidad de las funciones de los equipos, y para manejar las consecuencias de sus fallas.

El objetivo primario del RCM es conservar la función de sistema, antes que la función del equipo. La metodología lógica del RCM, que se deriva de múltiples investigaciones, se puede resumir en seis pasos:

- ✓ Identificar los principales sistemas de la planta y definir sus funciones.
- ✓ Identificar los modos de falla que puedan producir cualquier falla funcional.
- ✓ Jerarquizar las necesidades funcionales de los equipos usando análisis de criticidad.
- ✓ Determinar la criticidad de los efectos de las fallas funcionales.
- ✓ Emplear el diagrama de árbol lógico para establecer la estrategia de mantenimiento.
- ✓ Seleccionar las actividades preventivas u otras acciones que conserven la función del sistema.

Las premisas básicas para el diseño de cualquier proyecto de RCM que propenda por la optimización del mantenimiento, deben ser:

- ✓ Lo fundamental es la disponibilidad de los equipos.
- ✓ El interés principal debe ser la función que estos desempeñan.
- ✓ Se debe cuestionar todo plan no sustentado por análisis de confiabilidad.
- ✓ El análisis debe ser sistemático, tanto en extensión como en profundidad.

De acuerdo con la norma SAE-JA1011, un programa de RCM debe asegurar que las siete preguntas básicas sean contestadas satisfactoriamente en la secuencia mostrada:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones asociadas al equipo en su actual contexto operacional (funciones)?
- ✓ ¿De qué manera puede no satisfacer sus funciones (fallas funcionales)?
- ✓ ¿Cuáles la causa de cada falla funcional (modos de fallo)?
- ✓ ¿Qué sucede cuando ocurren las diferentes fallas (efectos de las fallas)?
- ✓ ¿De qué manera afecta cada tipo de fallas (consecuencias de las fallas)?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para prevenir/predecir cada falla (tareas probables e intervalos de las tareas)?
- ✓ ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada (acciones preestablecidas)?

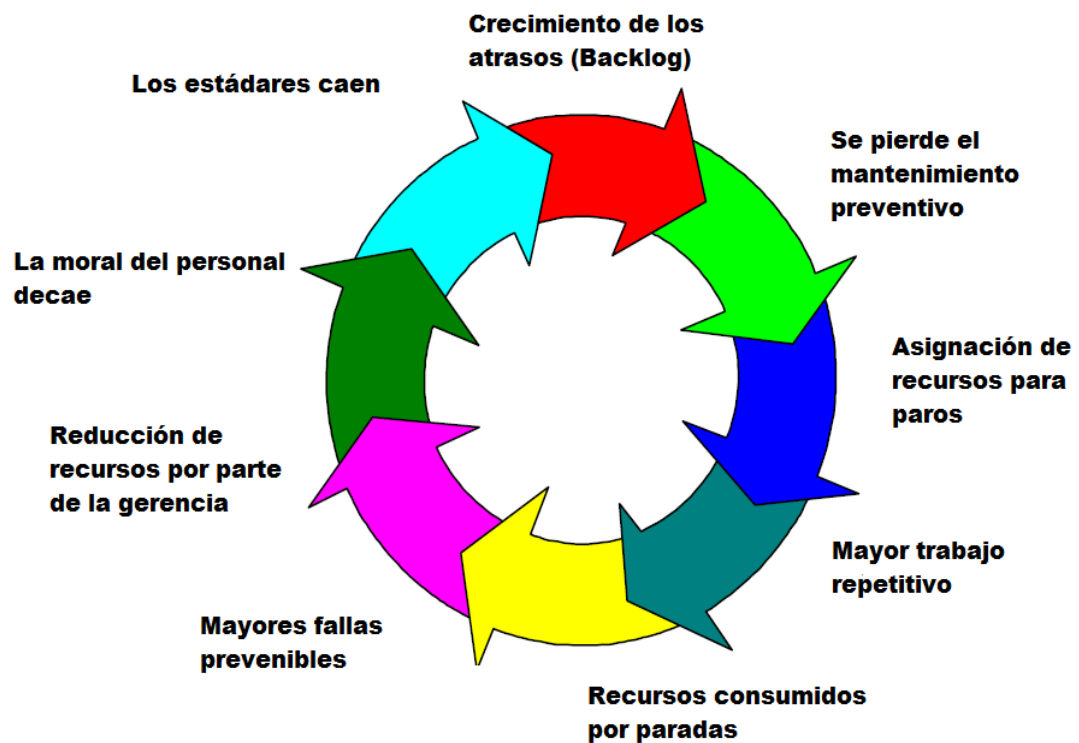
El resultado de cada análisis de RCM, de un equipo, es una lista de responsabilidades de mantenimiento que permiten aumentar la disponibilidad, confiabilidad y el rendimiento operativo del equipo, con un alto nivel de eficiencia en costos. El éxito de la implementación de RCM se debe a que esta metodología permite establecer los requerimientos necesarios de los distintos sistemas en su contexto operacional, por lo tanto, las empresas que quieran alcanzar un nivel de gestión óptimo lo deben considerar como primordial.

2.5.3.2 Optimización del mantenimiento planeado (PMO)

La optimización del mantenimiento planeado (PMO, por sus siglas en inglés) es una metodología diseñada para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los equipos en operación.

La teoría básica del PMO parte del análisis del ciclo vicioso del mantenimiento reactivo mostrado en la Figura 2, que se ha adaptado de Steve Turner.

Figura 2. Ciclo vicioso del mantenimiento reactivo



Fuente: <<http://www.omcsinternational.com/#>>

El problema principal es que el personal encargado de la ejecución de las tareas de mantenimiento no cuenta con los recursos suficientes para la preservación eficaz de la planta y no enfocan sus energías en el mejoramiento de la confiabilidad, sino que utilizan los escasos recursos asignados al mantenimiento preventivo en las paradas de planta repentinas.

Este tipo de limitaciones ocasionadas al mantenimiento preventivo trae como consecuencia un inevitable ciclo de paradas y por ende una reducción del nivel de productividad debida a la necesidad de ejecutar mantenimiento provisional.

La optimización del mantenimiento planeado surge como respuesta a la necesidad de salir del ciclo vicioso del mantenimiento reactivo. En primera instancia, dentro de la metodología PMO, se analiza el programa existente de mantenimiento en la organización, trabajando en equipos funcionales de toda la planta con el objeto de identificar aquellos elementos de la estrategia actual que son útiles y los que son inadecuados. Se establecen las fallas críticas y sus causas dentro del historial de fallas y se determinan cuales se pueden prevenir con actividades de mantenimiento proactivo.

El proceso de optimización del mantenimiento planeado, facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando el mantenimiento preventivo está consolidado y la planta está bajo control. Esto implica una buena experiencia en hacer mantenimiento planeado. A partir de ahí, las mejoras se pueden alcanzar fácilmente con la adecuada asignación de recursos; y el personal de mantenimiento puede enfocar sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta, o en las limitaciones operativas.

La entrada principal para la revisión de las actividades de mantenimiento preventivo que se desarrollan dentro de la metodología PMO, es la información y registros históricos almacenados en los sistemas de información de mantenimiento (CMMS o EAM). Aunque en la mayoría de los casos esta información está incompleta o es inexacta, la implementación de la metodología PMO obliga a que el tratamiento de dicha información sea mejorada con el fin de sacarle el mayor provecho posible.

La justificación más fuerte para la implementación de un programa de PMO es que todas las acciones de mantenimiento agregan valor, y que el sistema motiva mejoras en muchos otros aspectos del manejo de los equipos de la empresa, aparte de los análisis básicos de mantenimiento.

El análisis de confiabilidad con base en el historial de fallas de los equipos, permite determinar el comportamiento real durante su vida útil, con el fin de:

- ✓ Diseñar las políticas de mantenimiento a utilizar en el futuro.
- ✓ Determinar las frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.
- ✓ Optimizar el uso los recursos físicos y del talento humano.
- ✓ Calcular intervalos óptimos de sustitución económica de equipos.
- ✓ Minimizar los costos del departamento.

2.5.3.3 Análisis y modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM)

El análisis RAM (por sus siglas en inglés), es una metodología usada para predecir el desempeño de los equipos para una configuración dada en términos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. La importancia de la metodología RAM consiste en la capacidad de predecir el comportamiento de los equipos en cuanto a fallas o reparaciones (tiempos y fechas de ocurrencia), los tiempos útiles (duración y días en que ocurrirán), los mantenimientos planeados (para su programación en tiempos y frecuencias) y demás actividades relacionadas con la planeación y programación del mantenimiento de los equipos con el fin de establecer lineamientos de operación.

¿Cómo se realiza la estimación de los indicadores de mantenimiento y producción? La forma en que se calculan la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad es amplia y diversa ya que existen muchos métodos. Dichos métodos difieren en su fundamentación técnica aunque persiguen el mismo objetivo, algunos son más idóneos que otros en función del entorno y del grado de

reparación de los elementos, como también del grado de madurez técnica de las personas o de la empresa que los usa. Se destacan los siguientes métodos⁸:

- ✓ Puntual: se basa en el establecimiento de promedios de cada uno de los parámetros de fallas, reparaciones, tiempos útiles, y demás variables por calcular.
- ✓ Distribuciones: utiliza los mismos conceptos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad del modelo puntual, pero en lugar de utilizar el promedio de valores de tiempos útiles, de fallas, de mantenimientos planeados, de demoras, utiliza diferentes distribuciones (Weibull, Normal, LogNormal, Exponencial, Gamma, etc.) las cuales modelan mucho mejor el comportamiento de las variables RAM en el tiempo y sus parámetros. Es un buen procedimiento aplicable tanto a elementos o máquinas reparables o no*.
- ✓ Series temporales: este método de predicción se basa en el uso de modelos estocásticos AR.I.MA (Auto-Regressive, Integrated, Moving Average), estos modelos son muy efectivos y reducen al mínimo los errores en los pronósticos frente a la realidad futura. Se pueden usar directamente sobre la predicción de fallas, reparaciones, de los mantenimientos, de los tiempos útiles, etc., o sobre cada una de las variables de modelación.

El análisis se efectúa mediante el modelado la configuración de los sistemas y la distribución de los equipos en dichos sistemas tomando en consideración todos los factores potenciales que pueden impactar la producción.

⁸MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento: Planeación, Ejecución y Control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p. 62.

*Un elemento o máquina no reparable es aquel que al fallar es sustituido, descartado o reemplazado.

La configuración de los sistemas y la distribución de los equipos en dichos sistemas se basan en lo que se conoce como RBD (diagrama de bloque de confiabilidad, por sus siglas en inglés).

Los diagramas de bloque permiten mostrar como la confiabilidad de los componentes de los sistemas contribuye al éxito o falla de un sistema complejo. Los diagramas de bloques son dibujados como bloques en serie o paralelo, cada bloque representa un componente del sistema con una tasa de falla establecida. Los componentes en paralelo hacen referencia a redundancias, es decir, que todas las configuraciones en paralelo deben fallar para que la red de equipos falle, en contraste, cualquier falla a lo largo de la red en serie causa que toda la configuración falle.

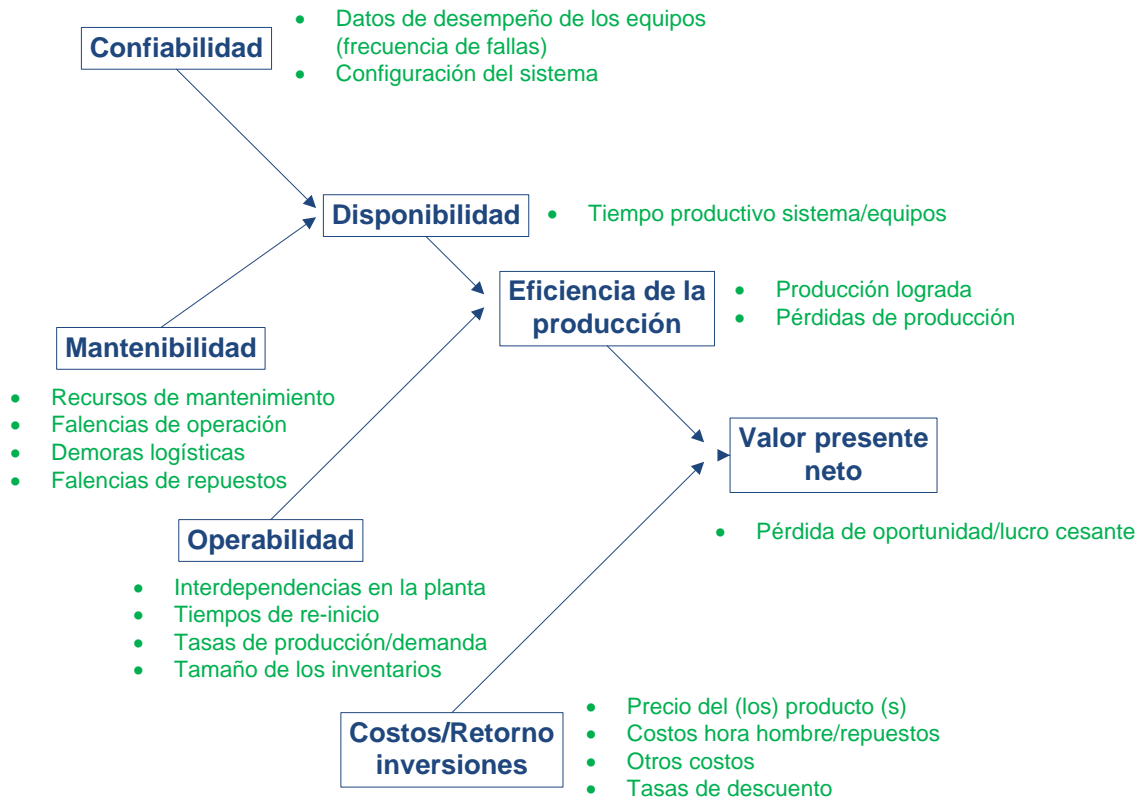
El marco de referencia asociado a las simulaciones RAM es bastante extenso y complejo, con esta pequeña introducción se pretende ilustrar el proceso global que permite pronosticar el comportamiento de los sistemas y de las plantas o facilidades productivas. Mediante las simulaciones RAM es posible comparar diferentes escenarios de operación de los sistemas con base en información histórica del desempeño de los equipos incluyendo todos los factores que tienen incidencia sobre su mantenimiento.

Algunos software de simulación y análisis RAM disponibles en el mercado son:

- ✓ AvSim+
- ✓ BlockSim
- ✓ Computer Aided Reliability Engineering (CARE)
- ✓ Rapid Availability Prototyping for Testing Operational Readiness (RAPTOR)
- ✓ Relex RBD
- ✓ SPAR
- ✓ TIGER

En general, todos cubren los aspectos resumidos en la siguiente figura:

Figura 3. Resumen de la simulación y análisis RAM



Fuente: <http://www.dnv.com/binaries/what%20is%20ram-_tcm4-520227.pdf>

2.6 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL MANTENIMIENTO

Los costos asociados a la gestión y ejecución del mantenimiento representan un alto porcentaje del capital de trabajo de las empresas. Las inversiones en equipos son muy importantes, pero estas no garantizan el éxito de la producción por si solas, por lo que es indispensable que vayan acompañadas de una gran inversión en infraestructura, gestión y operación.

En la industria norteamericana, cuando las plantas o facilidades productivas tienen menos de cinco años de existencia, invierten cerca del 5% de sus ingresos en mantenimiento. A medida que la edad de los equipos empieza a incrementarse, también aumenta la inversión en mantenimiento de su maquinaria hasta alcanzar cifras cercanas al 15% de las ventas brutas⁹. En Francia, la inversión o los gastos de mantenimiento oscilan entre el 5% y el 8% de las ventas totales o del valor de los activos totales de la empresa¹⁰.

En los países en vía de desarrollo como Colombia, el rubro de mantenimiento es más alto. Infortunadamente, no existen datos públicos consolidados que permitan establecer una relación porcentual con respecto a los balances generales o estados de resultados o, con respecto a los ingresos netos de producción sin importar el sector productivo.

Las cifras enunciadas demuestran la importancia económica del mantenimiento en otros países, pero el hecho de que en Colombia no sea posible calcular y documentar la incidencia de la gestión y ejecución del mantenimiento en el capital de trabajo de las empresas motiva a desarrollar modelos que permitan cuantificar los costos globales de la organización de mantenimiento.

Por otra parte, resulta claro que se deben enfocar esfuerzos en el mejoramiento de la gestión y ejecución del mantenimiento ya que de esta forma será posible lograr una reducción de costos que aumente la competitividad de las empresas.

⁹MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control. Bogotá D.C.: Alfaomega Colombiana S.A., 2009. p. 30.

¹⁰SOURIS, Jean-Paul. El Mantenimiento: fuente de beneficios. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992. p. 71.

2.7 MODELO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO

2.7.1 Motivación¹¹

La contabilidad de costos tradicionalmente ha sido relacionada con la determinación del precio unitario de los productos de las empresas: *precio = costo total de producción + beneficio*, es por eso que la contabilidad de costos asociada a la organización de mantenimiento ha sido y es aún hoy en día una asignatura pendiente de la gran mayoría de las empresas ya que el costo total de la gestión y la ejecución del mantenimiento se ha considerado como un “*costo indirecto*” más.

A medida que el nivel de competitividad en cada uno de los segmentos industriales ha ido aumentando, a la determinación del costo total de producción, sobre todo con el fin de reducirlo, se ha unido el estudio detallado y el establecimiento de los costos totales de otras unidades de actividad dentro de la empresa como lo es *mantenimiento*. A pesar de la importancia del mantenimiento y su gran repercusión económica dentro de las empresas, no ha sido hasta hace poco objeto de estudio en detalle desde el punto de vista financiero y contable.

Los procesos de auditoría y los servicios de consultoría contratados permiten determinar los costos totales de la actividad productiva y destacar en qué áreas se puede mejorar, es decir que resulta imperativo revisar los costos departamento a departamento y con este fin, es absolutamente imprescindible disponer de una contabilidad analítica de gestión y que incluya todas las variables que tienen incidencia en la ejecución del mantenimiento la cual permita un estudio detallado en cada una de las plantas o facilidades, sistema a sistema, estrategia a estrategia, etc.

¹¹ GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 2 ed. Madrid: Fundación Confemetal, 2005. p. 345-369.

Con el fin de disponer con todos los datos de costos detallados y segregados se debe disponer de una herramienta organizativa y diseñada para ello, que en el caso de mantenimiento, no es tan obvio como para la contabilidad general de la empresa. Por otra parte, la organización de mantenimiento sobre la cual se ejecutarán los procesos de análisis, debe tener el *nivel de madurez* adecuado así como contar con un sistema de adquisición de datos (sistema de información o software de mantenimiento, CMMS o EAM). No es suficiente contar con el software para gestión y el personal idóneo para llevar a cabo dicha labor (ingenieros planeadores), sino que este debe estar estructurado y contar con todas las variables necesarias con el fin de recolectar y almacenar información útil y de calidad.

La recolección de los datos de costos es una labor bastante compleja en las organizaciones de mantenimiento pues obliga a los técnicos/operarios de dicho servicio y a sus mandos a ejecutar un trabajo adicional al que no suelen estar acostumbrados en muchas empresas: registro del tiempo que dedican a cada trabajo según su naturaleza (mantenimiento mecánico, eléctrico o intervenciones en instrumentación), reflejo de materiales y consumibles invertidos, codificación de las ordenes de trabajo según la estrategia empleada (correctivo, preventivo, etc.). Para ello es indispensable que se concientice a los trabajadores sobre el nivel de rigurosidad necesario y que además se establezca una dinámica de trabajo basada en programaciones y controles de actividades con órdenes de trabajo y rutas.

Es importante erradicar la idea de que el mantenimiento constituye un gasto general y, como tal, sólo precisa una contabilidad global y no segregada. El mantenimiento tiene una función productiva que consiste en contribuir con el mejoramiento de la eficacia económica de la empresa, es decir, que no se debe considerar al mantenimiento como una carga.

Todas las iniciativas que se planteen como líneas de mejora de la organización de mantenimiento serán justificadas sobre la rentabilidad de las mismas, entendiendo como tal el número de horas improductivas que evitan, la mayor disponibilidad de equipos obtenida por su implementación, la mejora en el servicio prestado, etc.

Dependiendo de la rigurosidad con la que se expongan y justifiquen las propuestas de mejora, se podrá evaluar su viabilidad y por ende estas serán aceptadas con mayor facilidad por parte de la dirección y/o administración. Las inversiones justificadas en métodos puramente empíricos ya tienen los días contados pues no es posible medir con certeza los resultados de su implementación.

Las personas encargadas de la gestión de la organización de mantenimiento deben huir de los informes vacíos y poco rigurosos contablemente, de propuestas de inversión, reformas en los equipos o en las instalaciones, sin análisis de rentabilidad y de amortización.

Los proyectos de inversión deben implementarse o no basándose en su rentabilidad económica, salvo en casos excepcionales muy concretos relativos a intereses estratégicos, de sostenibilidad, seguridad y salud laboral, o de cuestiones similares poco cuantificables cuya incidencia en costos es prácticamente nula.

En la práctica los responsables de la organización de mantenimiento no cuentan con una *herramienta financiera* suficientemente detallada con el fin de responder a interrogantes aparentemente simples como: si se aumentan las tareas preventivas, ¿en qué proporción disminuirá el costo total del mantenimiento correctivo y de las paradas de planta?

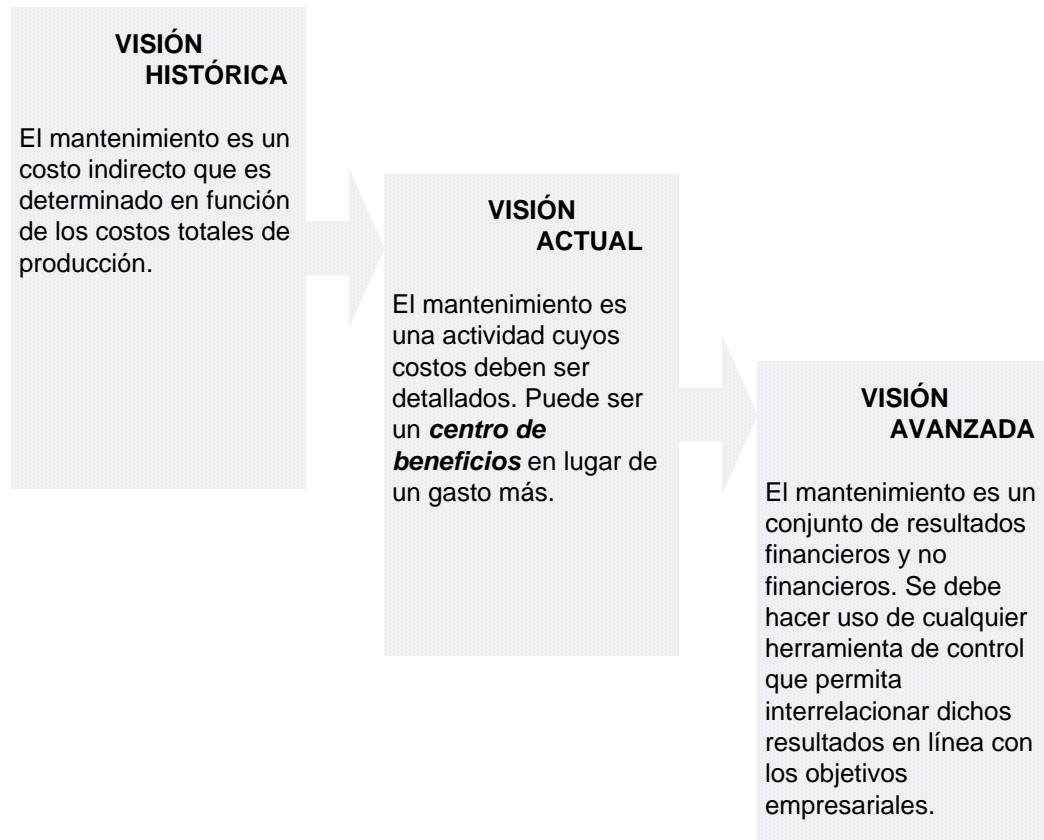
Si es posible contestar interrogantes de esta naturaleza, se puede afirmar con toda certeza que se tiene un dominio real de la organización de mantenimiento y de los costos asociados con su gestión y ejecución.

Hoy día, la consecución de los objetivos de mejora planteados como resultado de las evaluaciones y/o auditorias, se mide a través de indicadores de gestión y comparativos. El análisis de los indicadores inherentes a mantenimiento permite enfocar de manera adecuada los recursos disponibles de la organización de mantenimiento, los canales de comunicación y el trabajo en equipo entre los procesos de ingeniería de confiabilidad, operaciones y mantenimiento. Todos estos procesos hacen parte de la dimensión técnica y a partir de la ejecución de ellos surge el siguiente interrogante: ¿la organización de mantenimiento aporta o no valor al negocio?

Es una misión básica del área de mantenimiento aportar valor al negocio, por ende se debe cuantificar y documentar el desempeño de su gestión desde el punto de vista financiero teniendo en cuenta que generalmente constituye un rubro considerable dentro de los presupuestos globales de las empresas. El modelo de evaluación económica de la organización de mantenimiento permitirá disponer con todos los datos de costos detallados y segregados y será integrado herramienta organizativa diseñada para ello.

La figura mostrada a continuación resume las tres visiones sobre la evolución conceptual de los costos en mantenimiento. Todo el proceso culmina en una visión avanzada que se fundamenta en integrar e interrelacionar indicadores técnicos y económicos.

Figura 4. Visiones sobre la evolución conceptual de los costos en mantenimiento



Fuente: GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 2 ed. Madrid: Fundación Confemetal, 2005. p. 349.

A continuación se exponen los criterios generales que deben ser tenidos en cuenta en el modelo de evaluación económica de la organización de mantenimiento.

2.7.2 Contabilidad general vs. Contabilidad analítica

Existen diferencias marcadas entre la *contabilidad general o financiera* y la *contabilidad analítica o de gestión* que el responsable de la organización del mantenimiento debe tomar en cuenta para la evaluación de su departamento.

La siguiente tabla detalla las diferencias más significativas entre ambos escenarios. Aunque existen diferencias marcadas, una vez agregadas y totalizadas, los resultados deben ser exactamente iguales.

Tabla 1. Diferencias entre la información contable general y la información contable analítica

ANÁLISIS PERÍODO	CONTABILIDAD GENERAL O FINANCIERA	CONTABILIDAD ANALÍTICA O DE GESTIÓN
Información histórica o real	Balance, P&G (Estado general de resultados) y financiación	Imputaciones por actividades, productos, familias, área, instalaciones, etc.
Información provisional o presupuestaria	Desviación de beneficios (ventas-gastos) respecto a la previsión	Desviación de costos por actividades, productos...

Fuente: GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 2 ed. Madrid: Fundación Confemetal, 2005. p. 354.

La contabilidad general o financiera brinda información histórica y real que sirve para elaborar el balance general, el estado general de resultados y analizar diferentes fórmulas de financiación. El presupuesto general permite analizar la desviación que se presenta en los beneficios globales con respecto a las proyecciones, el efecto del lanzamiento de un nuevo producto o servicio, etc.

En la contabilidad analítica de la organización de mantenimiento, las imputaciones de las órdenes de trabajo (costos directos) y de la organización, mandos y gastos administrativos (costos indirectos), debe hacerse por estrategia (correctivo, preventivo, predictivo, etc.) y por áreas, secciones o instalaciones. El objetivo final será poder analizar desviaciones en costos de mano de obra, de insumos y suministros, la rentabilidad de reformas o cambios de estrategia, etc. Se concluye

que la contabilidad analítica constituye una herramienta de gestión y evaluación que permite advertir y evaluar desviaciones o variaciones que soportan la toma de decisiones sobre el “negocio” de mantenimiento que tiene a su cargo la dirección de operaciones.

2.7.3 Clasificación de costos: infraestructura de la información de mantenimiento

Una vez establecidos los objetivos que se pretenden lograr con el desarrollo de un modelo de evaluación económica de la organización de mantenimiento, surge el siguiente interrogante: ¿Cuáles son las fronteras para la clasificación de los costos teniendo en cuenta que las estructuras funcionales operacionales y administrativas varían de una empresa a otra?

La norma ISO 14224:2006 provee los lineamientos estándar para la estructuración de la información de equipos (activos físicos productivos) y facilidades (o plantas) para las industrias petrolera y petroquímica. Siguiendo los lineamientos de la norma, es posible establecer la *taxonomía* de los árboles de costos y el nivel de detalle incluido en cada una de las categorías.

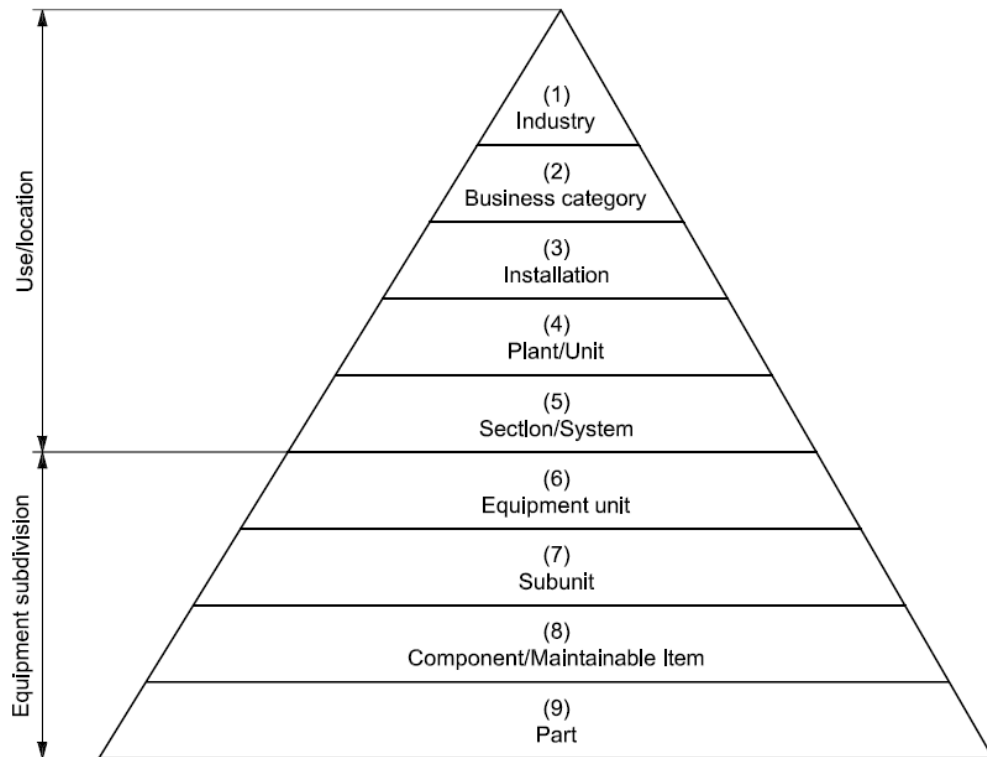
La norma ISO 14224:2006 define el término taxonomía así:

“Clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basada en factores posiblemente comunes a muchos de los ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.)”¹².

¹²INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2006. 2 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2006. p. 18.

La clasificación de datos relevantes es representada por la jerarquía mostrada en la siguiente figura.

Figura 5. Jerarquía de los niveles taxonómicos especificada en la norma ISO 14224:2006



Fuente: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2006. 2 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2006. p. 18.

Esta taxonomía es propia de la clasificación de sistemas y equipos para ser gestionados a través de los sistemas de información en cada una de las organizaciones de mantenimiento. Con base en estos lineamientos, cada empresa define sus estructuras y códigos para administrar, controlar y almacenar la información histórica de los equipos a ser mantenidos.

Tabla 2. Ejemplos de aplicación de los niveles taxonómicos especificados en la norma ISO 14224:2006

Categoría principal	Nivel	Jerarquía taxonómica	Definición	Ejemplos
Datos de uso/ubicación	1	Industria	Tipo de industria	Petróleo, gas natural
	2	Unidad de negocio	Tipo de negocio	Offshore, refinación, subsuelo, superficie
	3	Instalación	Tipo de instalación	Producción gas, transporte, perforación
	4	Planta/ Unidad	Tipo de planta/unidad	Plataforma, planta metanol
	5	Sección/ Sistema	Sección/sistema principal de la planta	Sistema inyección, sección destilación
Subdivisión equipos	6	Equipos/ Unidades	Unidades de equipo de la misma clase. Cada clase contiene equipos comprables (ej.: compresores).	Intercambiadores de calor, calderas, turbinas, hornos
	7	Subunidad	Un subsistema necesario para el funcionamiento de los equipos.	Lubricación, refrigeración, calentamiento, control y monitoreo
	8	Componente/Ítem mantenible ¹	Grupo de partes de los equipos que se mantienen como un todo.	Caja reductora, bomba aceite, filtros, sensores, circuitos eléctricos
	9	Parte ²	Una pieza de un equipo.	Sello, tubos, impeler, perno, tuerca
¹ Para algunos tipos de equipos puede que no exista un ítem mantenible, por ejemplo para tuberías no se especifica ítem mantenible pero puede que se haga referencia a partes como codos, uniones, etc. ² Aunque este nivel puede ser considerado útil en algunos casos, es considerado opcional.				

Fuente: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2006. 2 ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2006. p. 18.

Teniendo en cuenta que los datos para documentar los costos de la gestión y ejecución del mantenimiento serán obtenidos de los sistemas de información y de los procesos de simulación y análisis de la dimensión técnica de mantenimiento, la

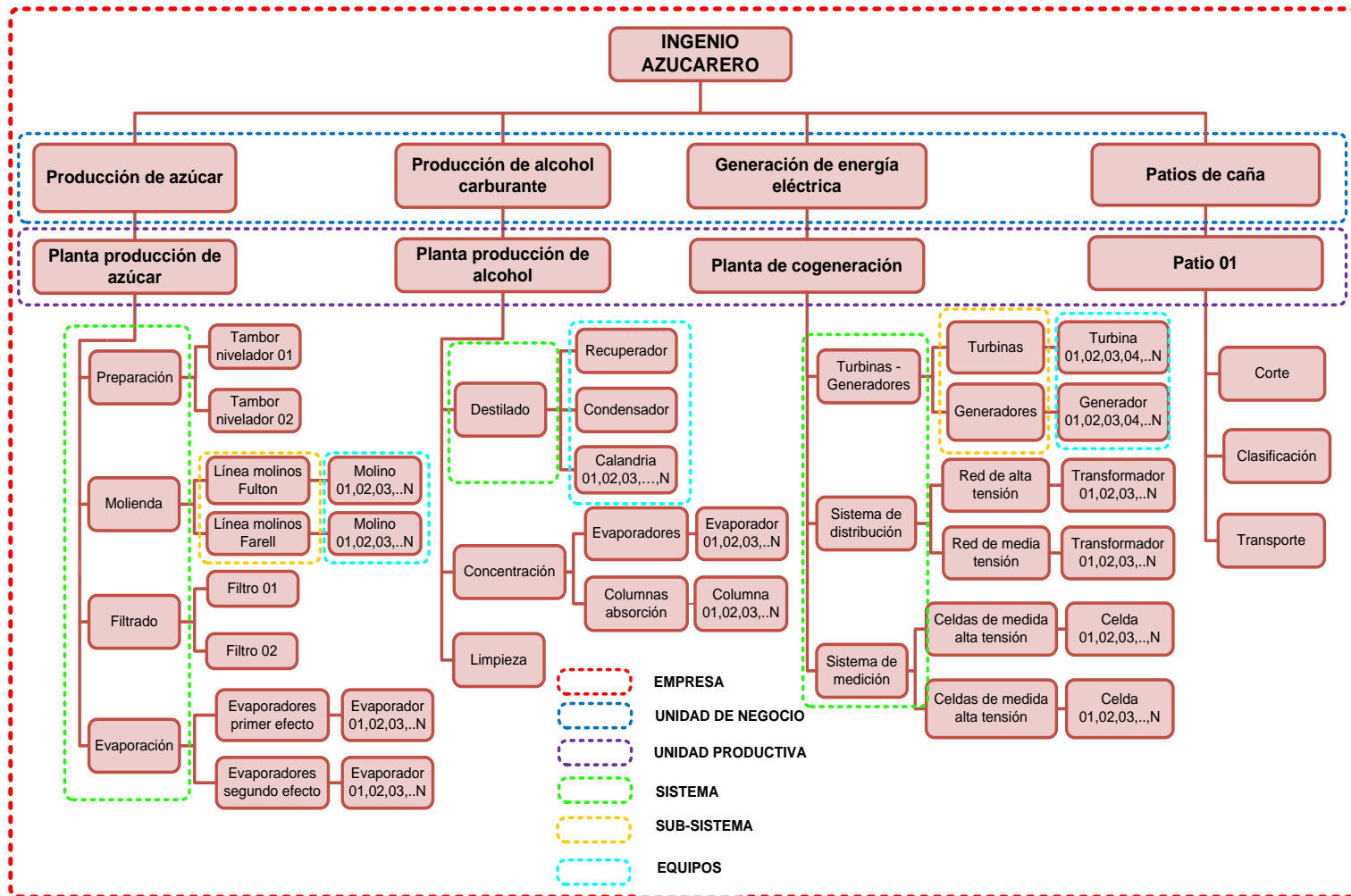
estructura de costos del modelo de evaluación económica debe ser similar a la que se maneja en los sistemas de información, o permitir que los datos extraídos de dichos sistemas y los obtenidos de los procesos de simulación y análisis puedan ser adaptados con el fin de obtener resultados que puedan ser verificables.

En primera instancia, se definirán los niveles jerárquicos que relacionan la información global de la empresa sobre la cual se ejecutará el análisis. Con el fin de abarcar todos los escenarios posibles sin importar el sector productivo y las variaciones que se presentan en las estructuras operacionales y administrativas, se proponen los siguientes niveles jerárquicos para la clasificación de las empresas:

- ✓ Nivel uno. Sector productivo: se debe especificar a qué sector productivo pertenece la empresa (ej.: oil and gas, cementos, automotriz, minero, etc.).
- ✓ Nivel dos. Empresa: se debe identificar la empresa con el fin de visualizar de manera organizada cada uno de los procesos de análisis.
- ✓ Nivel tres. Unidad productiva/Planta/Facilidad: instalaciones donde se producen bienes tangibles, en este nivel se especifica a cual instalación pertenecen los sistemas y equipos.
- ✓ Nivel cuatro. Sistema de producción: los diferentes procesos operativos y sus sistemas correspondientes en cada instalación son clasificados en este nivel.

¿Por qué se toman estos niveles? Con el fin de ilustrar y explicar los niveles propuestos, a continuación se muestra el ejemplo de un ingenio azucarero.

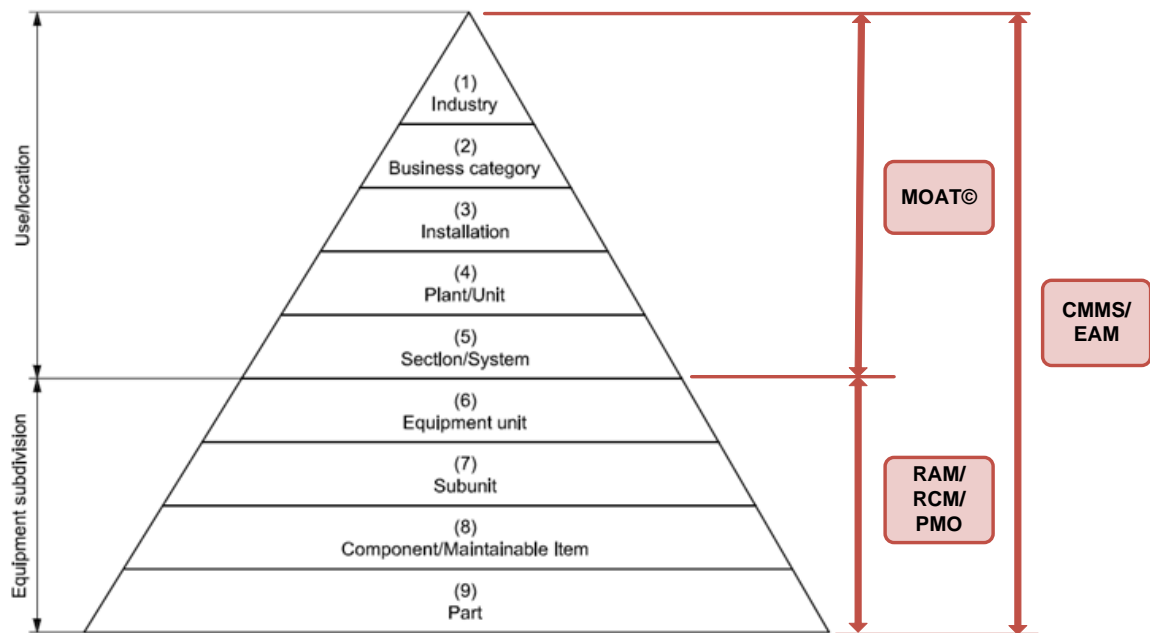
Figura 6. Estructura operacional típica de un ingenio azucarero en Colombia



Fuente: El autor.

Si se estudia con atención la estructura operacional mostrada, es claro que no representa ningún beneficio incluir las unidades de negocio porque en la gran mayoría de los casos la codificación e inclusión de datos en las órdenes de trabajo se hace independiente de este ítem. Por otra parte, los siguientes niveles especificados en la norma ISO 14224:2006 (los cuales hacen referencia a componentes - ítem mantenible - y partes de los equipos) no deben incluirse porque el volumen de información que se manejaría sería muy grande, es decir, que el número de variables y de datos que debería tener en cuenta el usuario irían en contra de la justificación de cualquier herramienta computacional para procesar y analizar información. En la siguiente figura se muestra la cobertura de las herramientas de soporte y de la dimensión técnica de mantenimiento en función de cada uno de los niveles jerárquicos detallados en la norma ISO 14224:2006:

Figura 7. Cobertura herramientas de soporte y dimensión técnica



MOAT© - Maintenance Organization Assessment Tool.

Herramienta diseñada y desarrollada en el trabajo de grado, detallada más adelante.

Fuente: El autor.

Cuando se tienen los datos al nivel de detalle propuesto es posible identificar en qué lugar de la planta, más específicamente, en qué sistema (s) se están generando la mayor cantidad de problemas dentro del proceso productivo y donde los costos de asociados con la gestión y ejecución del mantenimiento son más elevados, en otras palabras, elaborar un diagrama de distribución de costos.

Finalmente, es necesario definir cuales costos se incluirán y en qué nivel jerárquico dentro del modelo.

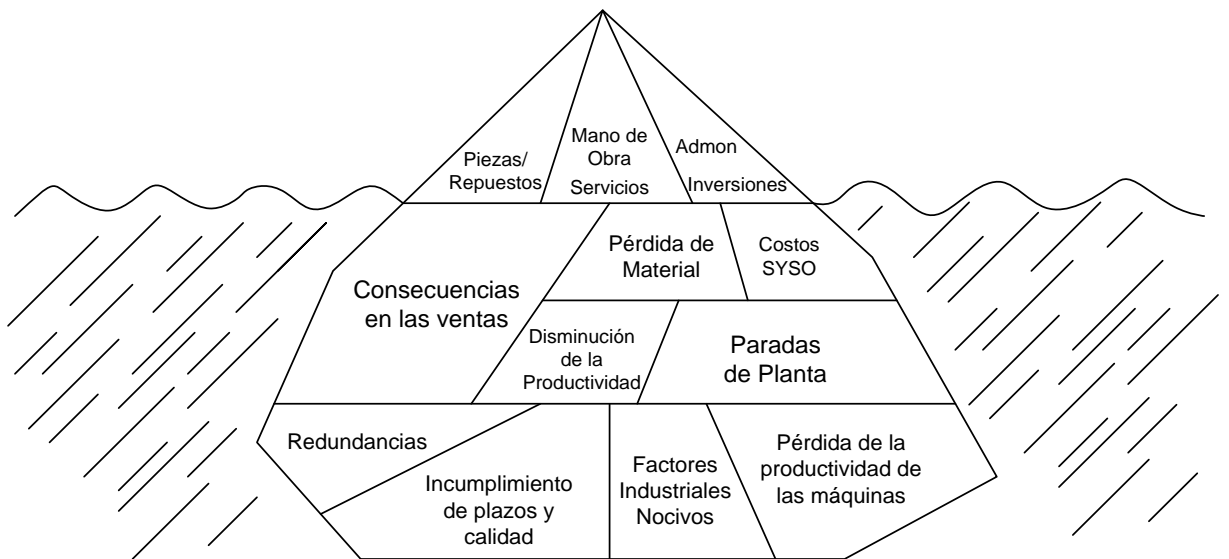
Los costos asociados con la gestión y operación de las organizaciones de mantenimiento se pueden clasificar en *directos* e *indirectos*:

- ✓ Costos directos: están relacionados con la ejecución de las tareas de mantenimiento y los recursos empleados en cada una de ellas.
- ✓ Costos indirectos: están relacionados con temas administrativos (recurso humano, arriendos, transporte, etc.).

Existen también los llamados *costos de no mantenimiento*. Los costos de no mantenimiento se relacionan con la no disponibilidad de los equipos o con la degradación del funcionamiento de los mismos. De hecho, se trata de costos que resultan de no mantener las características funcionales de los equipos.

Los costos directos e indirectos son, por lo general, considerablemente inferiores a los costos de no mantenimiento, como lo muestra el iceberg de costos de mantenimiento:

Figura 8. Iceberg de costos de mantenimiento



Fuente: SOURIS, Jean-Paul. El Mantenimiento: fuente de beneficios. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992. p. 73.

Los costos de no mantenimiento se especifican en las órdenes de trabajo como pérdidas de producción asociadas a la ejecución de tareas de mantenimiento y se clasifican de la siguiente forma:

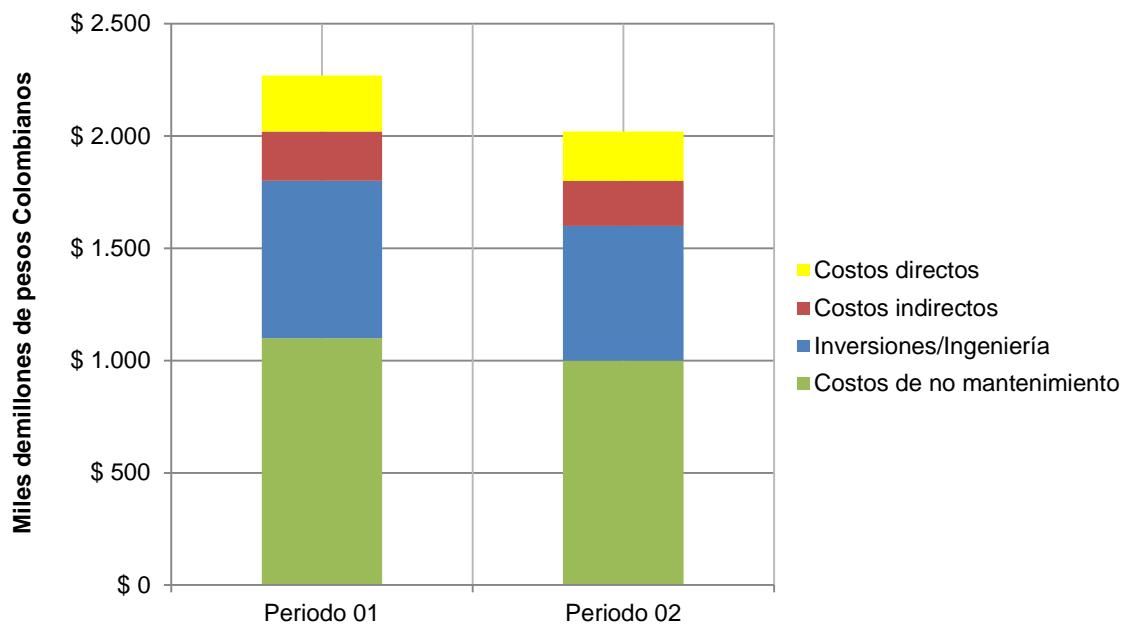
- ✓ Lucro cesante: la falla genera una parada en la producción que si no hubiera ocurrido, el tiempo de reparación significaría tiempo productivo.
- ✓ Perdida muerta: el tipo de falla no permitiría declarar lucro cesante en la medida en que el evento no hubiese permitido la producción equivalente en tiempo, por ejemplo: un atentado en las instalaciones. No están relacionadas con la producción de bienes.

Dado que no todos los sistemas caen dentro de la categoría de productivos sino que en algunos casos cumplen una función de apoyo, no siempre se causarán

costos de no mantenimiento en ellos. Cuando se totalicen los valores, se calcule la variación de los costos de no mantenimiento y estos se lleven al flujo de caja, se deberán tener cuenta los tiempos productivos de la planta ya que no existe una fórmula matemática que permita establecer la relación entre las disponibilidades de cada sistema y la disponibilidad global de la planta.

Por último, se incluirán los costos asociados con *inversiones e ingeniería* que son cargados al departamento de mantenimiento. La inclusión de estos costos permitirá evaluar la rentabilidad de las inversiones en consultoría y equipos así como el beneficio obtenido por la implementación de nuevas estrategias en términos financieros.

Figura 9. Ejemplo distribución de costos globales totalizados según su naturaleza



Fuente: El autor.

A continuación se muestran las estructuras de costos que serán incluidas dentro del modelo en función de los niveles jerárquicos definidos anteriormente tanto para periodos históricos como proyectados. Estas estructuras permitirán conocer la distribución global de costos de la organización de mantenimiento periodo a periodo.

Tabla 3. Estructura de costos para los periodos históricos - Nivel Unidad Productiva/Planta/Facilidad

UNIDAD PRODUCTIVA/PLANTA/FACILIDAD
Costos directos mantenimiento
Labores HH
Repuestos
Materiales/Fungibles/Consumibles
Servicios
Costos indirectos mantenimiento
Costos del personal
<i>Nivel Gerencia</i>
<i>Nivel Supervisión</i>
<i>Nivel Planeación</i>
<i>Nivel Confiabilidad</i>
Otros/Costos Indirectos
<i>Arriendos</i>
<i>Transporte/vehículos</i>
<i>Oficinas/ equipos de cómputo/software</i>
<i>Comunicaciones</i>
<i>Salud, seguridad, calidad y medio ambiente</i>
<i>Administración, legales y servicios de seguridad</i>
Inversiones/Ingeniería
Consultoría
Proyectos
<i>Equipos: Compra/Cambio</i>
<i>Equipos: Modificación/Revamp</i>
<i>Otros</i>
Costos de no mantenimiento

Fuente: El autor.

Tabla 4. Estructura de costos para los periodos históricos - Nivel Sistema de Producción

SISTEMA DE PRODUCCIÓN
Costos directos mantenimiento
Labores de mantenimiento
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Predictivo</i>
<i>Paradas de Planta</i>
<i>Otras actividades</i>
Repuestos
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Paradas de Planta</i>
<i>Otras actividades</i>
Materiales/fungibles/consumibles
<i>Costos totales</i>
Servicios
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Predictivo</i>
<i>Paradas de Planta</i>
<i>Otras actividades</i>
Costos de no mantenimiento

Fuente: El autor.

En los periodos proyectados las estructuras de costos variarán con respecto a los periodos históricos ya que no es posible conocer en detalle todos los datos de entrada para los cálculos como en el caso de los datos históricos que se extraen los sistemas de información de mantenimiento, además se debe tener en cuenta la incertidumbre asociada a las tareas de naturaleza reactiva, es decir, no es correcto afirmar que los costos directos en los periodos proyectados (labores de mantenimiento, repuestos, materiales/fungibles/consumibles y servicios) al nivel de la planta resultan de sumar todos estos costos al nivel de los sistemas periodo

a periodo. Las herramientas matemáticas e informáticas que permiten evaluar estadísticamente el comportamiento de las plantas y sistemas, y realizar proyecciones de costos e indicadores de desempeño clasifican las tareas en correctivas, preventivas y predictivas (inspecciones).

En algunos casos (dependiendo del software que se utilice), se obtienen el número de horas hombre y los costos totales asociados a cada estrategia de mantenimiento, o solo se obtiene uno de los dos datos (en la gran mayoría de los casos solo se obtienen los costos totales). Con el fin de cubrir todos los escenarios posibles, se pedirá al usuario que incluya los costos detallados y se llevarán totalizados al nivel de la facilidad y sistemas con el fin de incluirlos en el (los) flujo (s) de caja. A continuación se muestran las estructuras de costos propuestas:

Tabla 5. Estructura de costos para los periodos proyectados - Nivel Unidad Productiva/Planta/Facilidad

UNIDAD PRODUCTIVA/PLANTA/FACILIDAD
Costos directos mantenimiento
Labores HH
Repuestos
Materiales/Fungibles/Consumibles
Costos indirectos mantenimiento
Costos del personal
<i>Igual que en periodos históricos</i>
Otros/Costos Indirectos
<i>Igual que en periodos históricos</i>
Inversiones/Ingeniería
Consultoría
Proyectos
<i>Igual que en periodos históricos</i>
Costos de no mantenimiento

Fuente: El autor.

Tabla 6. Estructura de costos para los periodos proyectados - Nivel Sistema de Producción

SISTEMA DE PRODUCCIÓN
Costos directos mantenimiento
Labores de mantenimiento
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Predictivo</i>
Repuestos
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
Materiales/fungibles/consumibles
<i>Costos totales</i>
Servicios
<i>Costos totales</i>
Costos de no mantenimiento

Fuente: El autor.

En el Anexo B se muestran los esquemas preliminares de los formatos para la visualización de las estructuras de costos por planta/facilidad y por sistema de acuerdo con los resultados del proceso de diseño de la herramienta computacional tanto para periodos históricos como proyectados.

Es importante tener en cuenta los requerimientos listados a continuación, estos son indispensables para un adecuado control y documentación de los costos de mantenimiento; el cumplimiento de estos requerimientos permitirá la aplicación del modelo de evaluación económica de la organización de mantenimiento:

- ✓ Todas las máquinas e instalaciones deben estar debidamente codificadas.
- ✓ Se debe disponer de árboles de despiece por grupos funcionales y sistemas para contar con la información de costos detallados y segregados.

- ✓ Los centros de contabilidad de costos deben poderse interrelacionar (costos de correctivo por máquina, preventivo por sistema, etc.).
- ✓ Los insumos y repuestos deben estar codificados y valorados.
- ✓ La mano de obra debe conocerse y poder imputar, tanto los tiempos de actividad, de paradas, de preparación, etc.
- ✓ Deben crearse y asignarse órdenes de trabajo para cualquier actividad, incluyendo tiempos definidos con antelación siempre que sea posible.
- ✓ El proceso de planeación, programación, creación, asignación y cierre de órdenes de trabajo deber ser ágil y asumido en la planta.

2.8 INDICADORES APLICADOS EN MANTENIMIENTO¹³

Un indicador es la relación entre variables cuantitativas o cualitativas que permite la comparación entre la situación actual y la norma o patrón establecido como requerimiento de la productividad y competitividad organizacional, en función de la misión y las metas establecidas.¹⁴

Un indicador es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización de mantenimiento, en los procesos o en las personas respecto de la percepción de la dirección en cuanto a costo, calidad y plazos.

Es importante entender que no se puede *administrar* algo que no se puede *controlar* y no se puede controlar algo que no se puede *medir*.

¹³ HERNÁNDEZ CRUZ, Eugenio; NAVARRETE PÉREZ, Enrique. Sistema de Cálculo de Indicadores para el Mantenimiento. En: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE CIENCIAS EMPRESARIALES (3^o: 2007: Ciudad de la Habana). Memorias Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales. Ciudad de la Habana: Centro de Estudio, Innovación y Mantenimiento, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echavarría, 2007. p. 3-6.

¹⁴ ARDILA RUIZ, Yenny Emilce y SILVA MENDOZA, Sara María José. Diseño de un modelo de evaluación y seguimiento financiero para las empresas prestadoras de servicios públicos de Bucaramanga. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Industrial, 2004. p. 23.

Los objetivos de los indicadores aplicados en la organización de mantenimiento son:

- ✓ Que la gestión organizacional esté basada en datos y hechos.
- ✓ Crear una cultura de medición y mejoramiento.
- ✓ Agregar valor al proceso de toma de decisiones en la organización.
- ✓ Valorizar los factores determinantes para obtener éxito.
- ✓ Establecer criterios de comparación con el mejor.
- ✓ Brindar información para analizar la eficacia y la eficiencia.
- ✓ Analizar cumplimiento en planes, objetivos, metas y resultados.

Los indicadores para el control y evaluación de la organización de mantenimiento tienen la siguiente clasificación:

- ✓ Indicadores de planeación: herramienta para la planeación de labores determinadas o programadas por mantenimiento, se expresan como el porcentaje de los trabajos programados y se pueden aplicar a trabajos realizados con recursos propios o mediante outsourcing (conducen a resultados, p.ej.: porcentaje de trabajos ejecutados).
- ✓ Indicadores de gestión: reflejan la situación de los trabajos que debe realizar mantenimiento en periodos de tiempo establecidos por la dirección de la empresa (se refieren al resultado en sí, p.ej.: disponibilidad de equipos).
- ✓ Indicadores de costo: hacen relación a la precisión del presupuesto.
- ✓ Indicadores de personal: se refieren al aprovechamiento de la mano de obra.

Los indicadores de planeación miden que tan bien se llevan a cabo las labores propias de mantenimiento, mientras que los indicadores de gestión miden el resultado del proceso de ejecución. Se administra usando indicadores de planeación, y se reacciona dependiendo del valor de los indicadores de gestión.

La parte interesante del manejo de indicadores está en que se debe aprender a administrar las operaciones mediante el uso de los mismos. Indicadores como costos totales, disponibilidad de equipos, tiempo de paradas, etc.; son útiles en la medida en que se desee evaluar el *desempeño* en general de la planta, pero no se pueden utilizar para administrar la organización del mantenimiento. Simplemente son el resultado de acciones previas, no se debe y no se puede administrar resultados. Lo que se puede es administrar los procesos que conllevan a resultados específicos.

En la herramienta computacional objeto de este trabajo de grado, mediante la documentación y el análisis de indicadores, se permitirá a los usuarios *controlar* (guiar las acciones del departamento para que sus resultados coincidan o superen los objetivos establecidos) y *verificar* (comprobar la eficacia y resultados del control) las actividades de la organización de mantenimiento con el fin de conocer rápidamente como van las cosas y por qué.

A continuación se complementa la definición de los indicadores de gestión teniendo en cuenta las premisas explicadas en la sección anterior.

2.8.1 Indicadores de gestión

Los indicadores de gestión del mantenimiento son indicadores técnicos de control que se relacionan con la calidad de la gestión o con la productividad del departamento, los cuales permiten analizar el comportamiento y el rendimiento operacional de la (s) planta (s), sistemas y equipos, y que adicionalmente permiten

medir la calidad de la ejecución de las tareas de mantenimiento y el grado de cumplimiento de los planes propuestos por parte de la gerencia.

Los indicadores de gestión más utilizados son¹⁵:

- ✓ **Confiabilidad:** es la probabilidad de que un equipo o sistema cumpla su función principal bajo condiciones normales de operación en un periodo de tiempo determinado. Como ya se señaló, el estudio de confiabilidad es el estudio de las fallas del sistema, equipo o sus componentes. Si un equipo no presenta ninguna falla, se dice que es cien por ciento confiable, es decir que tiene una probabilidad de operación igual a uno. Al ejecutar análisis de confiabilidad sobre equipos o sistemas, se obtiene información valiosa sobre la condición de los mismos, su probabilidad de falla y el tiempo promedio entre fallas.

- ✓ **Disponibilidad:** es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la cual fue destinado.

A través del estudio de los factores que influyen directamente sobre la disponibilidad, el tiempo medio para falla (MTTF, por sus siglas en inglés) y el tiempo medio para reparar (MTTR, por sus siglas en inglés), es posible para la gerencia evaluar las distintas alternativas de mejora con el fin de lograr un aumento rentable de la disponibilidad de los sistemas productivos.

- ✓ **Mantenibilidad:** es la probabilidad de devolver un equipo a condiciones operativas, en un periodo de tiempo dado y utilizando procedimientos predeterminados. La mantenibilidad depende del diseño del equipo; la

¹⁵ GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial: Principios Fundamentales. Bogotá D.C.: Ediciones de la U, 2012. p. 129-132.

accesibilidad, la estandarización y la facilidad de diagnóstico hacen mucho más sencillo el mantenimiento.

- ✓ Eficiencia global de equipos (OEE, por sus siglas en inglés): este indicador de gestión se relaciona con la efectividad y permite analizar el comportamiento global de los equipos mediante su disponibilidad, la eficiencia de desempeño (rendimiento de la producción) y la calidad de los trabajos (factor de calidad).

La OEE se calcula mediante el producto de los tres factores mencionados, y el instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM, por sus siglas en inglés) recomienda que dichos valores sean mínimo:

Disponibilidad $\geq 90\%$

Rendimiento de la producción $\geq 95\%$

Factor de calidad $\geq 99\%$

Es decir, OEE $\geq 85\%$

- ✓ Tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés): indica el intervalo de tiempo más probable entre el arranque y la aparición de una falla, es decir, es el tiempo promedio transcurrido hasta la ocurrencia de la falla. Mientras mayor sea su valor, más alta es la confiabilidad del sistema, por lo tanto el MTBF es uno de los indicadores más importantes utilizados en estudios de confiabilidad.
- ✓ Tiempo medio para falla (MTTF, por sus siglas en inglés): mide el tiempo promedio que es capaz de operar el sistema sin interrupciones dentro de un periodo de tiempo dado. El MTTF constituye un indicador directo de la confiabilidad del sistema ya que representa la confianza real que se debe tener en la operación del equipo. También se llama a este indicador en

diversas fuentes bibliográficas *tiempo promedio operativo* o *tiempo promedio hasta la falla*.

- ✓ Tiempo medio para reparar (MTTR, por sus siglas en inglés): es la medida de la distribución de los tiempos de reparación del equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a las condiciones óptimas de operación una vez esta se encuentra fuera de servicio por falla, dentro de un periodo de tiempo dado. El MTTR es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento.

2.8.2 Indicadores mundiales de mantenimiento y confiabilidad

Se plantea ejecutar procesos de benchmarking (definido en la siguiente sección) en la herramienta computacional. Ya está claro que se deben incluir algunos de los indicadores de gestión definidos en la sección anterior, sin embargo existen otros indicadores que son importantes y deben ser tenidos en cuenta. A partir de este planteamiento surge el siguiente interrogante:

¿Cuáles indicadores se deben incluir en la herramienta computacional en aras de contar con la información necesaria para ejecutar los procesos de benchmarking?

La Sociedad de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad (SMRP, por sus siglas en inglés) en asocio con la Federación Europea de Sociedades Nacionales de Mantenimiento (EFNMS, por sus siglas en inglés) llevaron a cabo un trabajo conjunto con el fin de homologar (armonizar) los indicadores definidos por SMRP en una de sus publicaciones llamada Medidas de las Mejores Prácticas (BPM, por sus siglas en inglés) y los definidos por el Comité Europeo de Normalización, CEN en la norma CEN EN 15341.

El documento resultante fue publicado en Octubre del año 2009 y se denomina Indicadores Globales de Mantenimiento y Confiabilidad. En el documento se incluyó un listado de 26 indicadores de mantenimiento y confiabilidad con los cuales es posible hacer benchmarking a nivel mundial. La estructura de cada indicador contiene: definición, objetivos, fórmula para cálculo, definición de componentes, usos y ejemplo de cálculo.

No es el objetivo de este apartado entrar en detalle con respecto a la definición de cada uno de los indicadores sino establecer un criterio que permita determinar cuáles son los indicadores de referencia que deben ser tenidos en cuenta en los procesos de análisis que serán ejecutados en la herramienta computacional objeto de este trabajo de grado.

Por otra parte, las bases de datos que contienen los indicadores de mantenimiento y confiabilidad que sirven como punto de comparación en los procesos de benchmarking, no son de libre acceso y los costos de adquisición de la información contenida en ellas son bastante altos. Se busca documentar información que esté disponible y que permita comparar los resultados de cada organización de mantenimiento con datos válidos sin importar el sector productivo y la variación de las condiciones operacionales en cada planta o facilidad.

Los niveles que permiten categorizar los indicadores y que serán tenidos en cuenta son:

- ✓ Mantenimiento proactivo
- ✓ Planeación y programación
- ✓ Medidas financieras
- ✓ Desempeño
- ✓ Administración
- ✓ Sistemas de información

A continuación se muestra una tabla en la que se listan los indicadores de acuerdo con los niveles listados anteriormente.

Tabla 7. Colección de indicadores para la evaluación de la organización de mantenimiento

Categoría	Indicador
Mantenimiento Proactivo	Cumplimiento programa mantenimiento preventivo
	Cumplimiento programa mantenimiento predictivo
	Relación Proactivo/Reactivo
	Porcentaje de horas hombre invertidas en mantenimiento planeado
	Porcentaje de mantenimiento hecho por el operador
	Porcentaje inspecciones realizadas por operaciones
	Efectividad de los diagnósticos hechos por técnicas predictivas
	Porcentaje de mantenimiento mejorativo
	Porcentaje de análisis de fallas
	Porcentaje de retrabajos
Planeación y Programación	Horas hombre no reportadas
	Horas hombre no programadas
	Cumplimiento de la programación
	Desempeño sobre los trabajos terminados
	Backlog (Atraso)
	Emergencias
	Horas extra
	Cantidad de órdenes de trabajo no planeadas con edad mayor a 7 días
	Porcentaje de órdenes de trabajo no documentadas
	Órdenes de trabajo de predictivo abiertas
Medidas Financieras	Costos de mantenimiento por unidad de producción
	Costos totales de mantenimiento/Costos totales de producción
	Costos de mantenimiento vs. Costo reposición de plantas y equipos
	Costos de servicios y mantenimiento (porcentaje de las ganancias)
	Retorno del capital invertido en mantenimiento por mejoras
	Rotación inventario mantenimiento por año
	Porcentaje inventario fuera de stock
	Porcentaje inventario en manos de los vendedores
Desempeño	Disponibilidad de equipos
	Rendimiento de la producción
	Factor de calidad
	Eficiencia global de equipos (OEE)
	Porcentaje de utilización

Tabla 7. Colección de indicadores para la evaluación de la organización de mantenimiento (continuación)

Categoría	Indicador
Administración	Personas a cargo/Supervisor primera línea
	Entrenamiento en horas por Año ($X = \#$ de empleados)
	Gastos de capacitación de empleados (porcentaje de la nómina)
	Accidentalidad por millón de horas trabajadas
	Housekeeping (Limpieza)
	Costo contratación/Costo total mantenimiento
	Horas hombre efectivas/Horas hombre totales
Sistemas de Información	Porcentaje de equipos incluidos en el sistema
	Porcentaje de equipos con información técnica en el sistema
	Porcentaje del tiempo del personal técnico invertido para reportes

Fuente: El autor.

2.9 BENCHMARKING¹⁶

2.9.1 ¿Cómo se define el benchmarking?

Desarrollar una definición global de lo que es exactamente el benchmarking no es sencillo, es comúnmente aplicado a una gran variedad de actividades que las empresas deciden emprender con el ánimo de *comparar* su nivel de desempeño con otras y/o identificar, adaptar, y adoptar prácticas que creen, mejorarán su desempeño y rendimiento.

Para algunos el benchmarking sólo necesita tener en cuenta el proceso de comparación del desempeño de la empresa, y no se hace necesario incluir un elemento que tenga como fin la mejora de los procesos. Este sería el caso de una organización con los mejores niveles de desempeño.

¹⁶STAPENHURST, Tim. The Benchmarking Book: A How-to-Guide to Best Practice for Managers and Practitioners. 1 ed. Oxford: Elsevier, 2009. p. 3-35.

Por otro lado están los que creen que el benchmarking es un proceso continuo en lugar de un proceso estático y de una sola fase...”proceso continuo de medición de productos, servicios y prácticas con respecto a los mejores competidores o empresas reconocidas como líderes de la industria”¹⁷

Esta definición establece que el benchmarking puede ser aplicado a los productos, servicios y prácticas de una organización; de forma más amplia el benchmarking se puede aplicar en cualquier área donde se desee comparar el desempeño.

También especifica que es deseable comparar con respecto a las mejores organizaciones, de tal forma que se identifica dónde están las debilidades y fortalezas en relación a las mismas, o a los líderes de la industria, es decir, que se tiene conciencia de los más altos niveles de desempeño alcanzados.

Se concluye que el *benchmarking* es: “un método de medición y mejora del desempeño organizacional mediante la comparación de la empresa u organización con la mejor en su clase”.

Las actividades para llevar a cabo el proceso de benchmarking se han venido estableciendo desde 1940 cuando los gobiernos decidieron llevar a cabo procesos de ingeniería inversa a los equipamientos militares. Entre los años 1950 y 1960 industriales japoneses visitaron las plantas de producción en los Estados Unidos con el fin de implementar prácticas de producción en masa.

En 1970, Xerox echó un vistazo a los lineamientos de los líderes del mercado con el objetivo de descubrir que niveles de desempeño era posible alcanzar y descubrir cómo alcanzar dichos niveles.

¹⁷KEARNS, David T. CEO (Former), Xerox Corporation.

Desde entonces las aplicaciones del benchmarking han crecido de manera exponencial e incluyen los siguientes tipos:

- ✓ Benchmarking a productos/servicios: aplica a un producto o servicio o, a la combinación de ambos factores (ej.: la salida de un proceso).
- ✓ Benchmarking a procesos: ejecutado sobre un proceso como compras, almacenamiento e inventarios, mantenimiento, etc.
- ✓ Benchmarking funcional: ejecutado sobre una función específica como el departamento de producción. La función puede que tenga incidencia sobre más de una facilidad y más de un proceso.
- ✓ Benchmarking a instalaciones: ejecutado sobre una instalación completa como una planta de producción, un aeropuerto, un hospital, etc.
- ✓ Benchmarking a proyectos: ejecutado sobre actividades que se ponen en marcha en un periodo de tiempo determinado con el fin de crear un producto o servicio específico como proyectos de construcción, desarrollo de software, etc.

Las compañías llevan a cabo procesos de benchmarking por muchas razones, algunas son:

- ✓ Intensificar la cultura de mejoramiento.
- ✓ Como una guía en el proceso de mejora.
- ✓ Como una ayuda para planear/presupuestar/priorizar de acuerdo con los objetivos de la empresa.
- ✓ Para resolver problemas específicos y justificar objetivos.

Por otra parte, el benchmarking constituye una herramienta útil para ayudar a seleccionar y ordenar las alternativas de mejora, buscar y encontrar las soluciones apropiadas e identificar los niveles de desempeño ideales que han de ser alcanzados.

2.9.2 Benchmarking asociado a mantenimiento

En el caso particular de mantenimiento no aplica un único tipo de benchmarking. La organización de mantenimiento tiene una función específica que consiste en asegurar la disponibilidad de los equipos y que estos operen en condiciones óptimas. Con el fin de cumplir dicha función, se ejecutan múltiples procesos que dependen de la madurez de la organización, por lo tanto es válido afirmar que se pueden asociar dos tipos de benchmarking con mantenimiento: benchmarking a procesos y benchmarking funcional.

En mantenimiento también se llevan a cabo comparaciones que van mucho más al detalle en las facilidades. Se ejecutan procesos de benchmarking al nivel de los equipos con el fin de comparar su desempeño individual, en función de sus características, con criterios que están definidos en documentos que recopilan datos producto de la investigación de diversos estamentos y la colaboración entre empresas de diversos sectores.

Un ejemplo lo constituye el grupo de investigación OREDA (Offshore Reliability Data). OREDA es una organización cuyo propósito es recopilar, documentar e intercambiar datos de mantenimiento y confiabilidad entre diversas organizaciones (diez empresas productoras de petróleo y gas que financian el proyecto) a través de una base de datos y documentos técnicos.

La base de datos establecida por OREDA incluye equipos usados en la exploración y la producción (equipo rotativo, mecánico, de control, etc.) en una amplia variedad de instalaciones y condiciones de funcionamiento. Un software especializado se encarga de recoger y recuperar la información al mismo tiempo que permite sus análisis.

Sin embargo, los procesos de benchmarking que se ejecutarán en la herramienta computacional no llegan hasta ese nivel de detalle, sino que pretenden comparar el desempeño global de las plantas/facilidades con indicadores de referencia que son aceptados a nivel mundial y son suministrados por diversas fuentes.

Ya se establecieron cuales indicadores serán incluidos, solo resta mostrar cuales son los valores mínimos deseados para cada indicador con el fin de establecer puntos de comparación.

En la tabla mostrada a continuación se detalla el resultado de la investigación realizada con el fin de documentar los indicadores en cada uno de los niveles establecidos anteriormente y los valores de referencia para cada uno de los “grados de madurez” que pueden alcanzar las organizaciones de mantenimiento o como pueden evolucionar estas a lo largo del tiempo.

Tabla 8. Colección de indicadores para Comparación/Benchmarking

Categoría	Indicador	Reactivo	Emergente	Proactivo	Líder
Mantenimiento Proactivo	Cumplimiento programa mantenimiento preventivo	50%-59%	60%-74%	75%-94%	≥95%
	Cumplimiento programa mantenimiento predictivo	70%-79%	80%-94%	95%-99%	100%
	Relación Proactivo/Reactivo	0.2 :1-0.9:1	1:1-1:3	4:1-6:1	≥7:1
	Porcentaje de horas hombre invertidas en mantenimiento planeado				≥87%
	Porcentaje de mantenimiento hecho por el operador	1%-2%	3%-9%	10%-32%	≥33%
	Porcentaje inspecciones realizadas por operaciones				Alrededor 50%
	Efectividad de los diagnósticos hechos por técnicas predictivas	≤80%	80%<X≤88%	88%<X≤95%	>95%
	Porcentaje de mantenimiento mejorativo	2%-19%	20%-39%	40%-89%	≥90%
	Porcentaje de análisis de fallas	2%-9%	10%-29%	30%-89%	≥90%
	Porcentaje de retrabajos	21%-30%	11%-20%	3%-10%	<3%
Planeación y Programación	Horas hombre no reportadas	21%-30%	6%-20%	1%-5%	<1%
	Horas hombre no programadas	21%-30%	6%-20%	1%-5%	<1%
	Cumplimiento de la programación	50%-69%	70%-79%	80%-90%	≥90%
	Desempeño sobre los trabajos terminados	± 21%-25%	±16%-20%	±10%-15%	±<10%
	Backlog (Atraso)	8-10 semanas	6-8 semanas	4-6 semanas	2-4 semanas
	Emergencias	20%-25%	11%-20%	5%-10%	≤5%
	Horas extra	16%-20%	11%-15%	5%-10%	≤5%
	Cantidad de órdenes de trabajo no planeadas con edad mayor a 7 días	8-10	4-7	1-3	0
	Porcentaje de órdenes de trabajo no documentadas	26%-30%	16%-25%	10%-15%	<10%
	Órdenes de trabajo de predictivo abiertas	11%-13%	8%-10%	5%-7%	<5%

Referencias:

- MITCHELL, Jhon S. Physical Asset Management Handbook. 4 ed. Houston: Clarion Technical Publishers, 2007. 446 p.
 PETERS, Ralph W. Maintenance Benchmarking and Best Practices. New York: McGraw-Hill, 2006. 566 p.
 WIREMAN, Terry. Benchmarking Best Practices in Maintenance Management. 2 ed. New York: Industrial Press, Inc., 2010. 234 p.
 ABERDEEN GROUP. Leading Asset-Intensive Industries Return on Invested Capital. Boston: Aberdeen Group, Inc., 2006. Research Report: 80 p.
 Maintenance Journal Magazine. Mornington. Octubre, 2005. vol. 18, no. 4.
 Maintenance Journal Magazine. Mornington. Febrero, 2008. vol. 21, no. 1.

Tabla 8. Colección de indicadores para Comparación/Benchmarking (continuación)

Categoría	Indicador	Reactivo	Emergente	Proactivo	Líder
Medidas Financieras	Costos de mantenimiento por unidad de producción ¹	Muy encima de la tendencia	Encima de la tendencia	Sobre la tendencia	Por debajo de la tendencia
	Costos totales de mantenimiento/Costos totales de producción ²	Muy encima de la tendencia	Encima de la tendencia	Sobre la tendencia	Por debajo de la tendencia
	Costos de mantenimiento vs. Costo reposición de plantas y equipos	3.5%-4%	3%-3.5%	2.5%-3%	<2.5%
	Costos de servicios y mantenimiento (porcentaje de las ganancias)	≥28%	28%-22%	22%-19%	≤18%
	Retorno del capital invertido en mantenimiento por mejoras	<59%	59%-87%	87%-93%	≥93%
	Rotación inventario mantenimiento por año	0.5-0.9	1.0-1.9	2.0-2.9	≥3
	Porcentaje inventario fuera de stock	6%-7%	5%-6%	2%-4%	<2%
	Porcentaje inventario en manos de los vendedores	6%-7%	5%-6%	2%-4%	<2%
Desempeño	Disponibilidad de equipos	78%-84%	85%-88%	88%-91%	≥92%
	Rendimiento de la producción	69%-78%	78%-82%	83%-89%	≥90%
	Factor de calidad	86%-90%	91%-92%	93%-94%	≥95%
	Eficiencia global de equipos (OEE)	50%-59%	60%-72%	73%-83%	≥83%
	Porcentaje de utilización	78%-81%	82%-86%	87%-92%	≥94%
Administración	Personas a cargo/Supervisor primera línea	$x < 8, x > 20$	16-20	8-11	12-15
	Entrenamiento en horas por Año ($X = \#$ de empleados)	$X \leq 50$	$50 < X \leq 80$	$80 < X \leq 100$	>100
	Gastos de capacitación de empleados (porcentaje de la nómina)				Alrededor 4%
	Accidentalidad por millón de horas trabajadas	>5%		≥1.5	0
	Housekeeping (Limpieza)				±96%
	Costo contratación/Costo total mantenimiento	<35%	35%-50%	50%-63%	±64%
	Horas hombre efectivas/Horas hombre totales	<35%	$35 < X \leq 44$	$44 < X \leq 58$	>58%
Sistemas de Información	Porcentaje de equipos incluidos en el sistema	<10%	30%	65%	100%
	Porcentaje de equipos con información técnica en el sistema	<10%	30%	65%	95%
	Porcentaje del tiempo del personal técnico invertido para reportes	>33%	33%-23%	23%-15%	15%-12%

^{1,2}Utilizar la métrica más baja obtenida históricamente.

Fuente: El autor.

3. CONTABILIDAD DE COSTOS Y MODELOS DE ANÁLISIS FINANCIERO APLICADOS EN MANTENIMIENTO

3.1 FLUJOS DE CAJA

Con el fin de visualizar y analizar la variación de los costos causados por la gestión y operación de la organización de mantenimiento (contabilidad analítica o de gestión), se tabularán y graficarán los valores calculados en flujos de caja.

Un flujo de caja detalla las entradas y salidas de efectivo en un periodo de tiempo dado, relaciona la acumulación neta de activos líquidos en un lapso de tiempo determinado, es decir, permite establecer la liquidez de los procesos productivos, servicios o estrategias de la organización.

Mediante la proyección de flujos de caja es posible analizar:

- ✓ Problemas de liquidez, comparar la rentabilidad con la liquidez de la empresa; puede que se presenten problemas de efectivo aun siendo rentable el negocio.
- ✓ ¿Es viable un proyecto de inversión?, los flujos de caja son la base del cálculo del valor presente neto y la tasa interna de retorno.
- ✓ La rentabilidad o crecimiento del negocio una vez comprendido que la realidad económica no se ve reflejada en las normas contables de la empresa.

El análisis que se llevará a cabo en este caso particular será puramente operacional. Serán tenidos en cuenta los valores de efectivo recibidos o dados como resultado de las actividades relacionadas únicamente con el mantenimiento de los equipos de la empresa, enlazados con las actividades económicas de base de la misma (barril de petróleo producido, por ejemplo).

La metodología y estructura para elaborar un flujo de caja está establecida de acuerdo a la situación particular que se desee a analizar, no es lo mismo detallar el flujo de efectivo en diferentes periodos de tiempo de un proyecto de inversión basado en depreciaciones, pago de deudas y acreedores que analizar la variación del ahorro obtenido a medida que transcurre el tiempo de acuerdo con los costos operacionales relacionados con actividades de mantenimiento. En general se analiza el efecto sobre un estado o situación inicial, se organiza una matriz en la cual las columnas corresponden a los periodos de tiempo (meses, años, trimestres, etc.); y en las filas los ingresos y salidas de dinero.

Los ingresos hacen referencia a todo el dinero que ingresa a la empresa por su actividad productiva, servicio prestado o cualquier otro concepto; las salidas es todo el dinero que sale de la empresa y que es necesario para realizar su actividad productiva (pagos, compras, etc.).

La información básica para realizar la proyección mediante flujos de caja está contenida en las actividades administrativas de la organización de mantenimiento, en las herramientas de soporte (sistemas de información) y en el cálculo de las inversiones relacionadas con las actividades de mantenimiento.

En la actualidad no es posible llevar a cabo una proyección que tenga una base teórica bien documentada y estructurada; la única referencia es la experiencia adquirida por los directivos de las organizaciones de mantenimiento a lo largo de su carrera profesional así como los criterios personales que los llevan a hacer

cálculos y proyecciones de manera empírica. Es por eso que se han documentado los parámetros que deben ser tenidos en cuenta para realizar las proyecciones de acuerdo con los criterios de la administración contable del mantenimiento (estructura de costos, indicadores, etc.). Adicionalmente, se evaluarán los beneficios obtenidos por la implementación de las alternativas de mejora (aumento disponibilidad) y por las inversiones hechas en equipos mediante el uso de criterios de evaluación financiera como el valor presente neto (VPN) y, la tasa interna de retorno (TIR).

3.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN FINANCIERA¹⁸

El interrogante que buscan responder los criterios de evaluación financiera es ¿se justifica hacer las inversiones?, en otras palabras, ¿son los beneficios o ingresos obtenidos (debidos a la mayor disponibilidad de equipos y reducción de costos) capaces de cubrir las inversiones o egresos (costos de mantenimiento, equipos, ingeniería, consultoría, etc.), y los intereses mínimos sobre las inversiones no amortizadas?

Los criterios de evaluación financiera se basan en una regla general la cual establece que una inversión es económicamente factible cuando cumple con las condiciones planteadas en el interrogante del párrafo anterior. La condición de factibilidad se resume en la siguiente relación: $\text{Ingresos} \geq \text{Egresos} + \text{Excedentes}$. En este caso se definen los ingresos como los ahorros obtenidos por la optimización de la ejecución del mantenimiento y el aumento de la disponibilidad de los equipos. Los egresos hacen referencia a las inversiones hechas con el fin de mejorar las condiciones de operación de los equipos (consultoría, cambio de equipos, actualización, etc.).

¹⁸VARELA VILLEGAS, Rodrigo. Evaluación económica de proyectos de inversión. 7 ed. Bogotá D.C.: McGraw-Hill, 2010. p. 116-120.

Cuando se aplican los criterios de evaluación financiera, se comparan ingresos y egresos mediante el uso de las relaciones de equivalencia. Las relaciones de equivalencia permiten desplazar correctamente el dinero en el tiempo e incluyen: suma presente (P), anualidades (A), suma futura (F) y la tasa de interés (i).

Tabla 9. Resumen de relaciones de equivalencia

Calcular	Dado	Relación exacta
F	P	$F = P(1 + i)^n$
P	F	$P = F \left(\frac{1}{1 + i} \right)^n$
F	A	$F = A \left(\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right)$
A	F	$A = F \left(\frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right)$
P	A	$P = A \left(\frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n i} \right)$
A	P	$A = P \left(\frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n - 1} \right)$

Fuente: VARELA VILLEGAS, Rodrigo. Evaluación económica de proyectos de inversión. 7 ed. Bogotá D.C.: McGraw-Hill, 2010. p. 33.

3.2.1 Valor presente neto (VPN)

Busca determinar la cantidad de dinero que se debe recibir en la posición “0” o inicio del primer periodo de análisis, para que se cumpla la condición de factibilidad que relaciona ingresos y egresos.

Consiste en desplazar al periodo cero la diferencia de todos los flujos futuros de dinero (ingresos y egresos) usando la tasa de descuento determinada por la empresa.

Como regla para la evaluación del VPN, el valor obtenido se compara contra cero; si es mayor que cero las inversiones y demás alternativas de mejora implementadas representan beneficios para la organización, si es menor no representan beneficios y si es igual a cero, no afectaron los resultados anteriores.

3.2.2 Tasa interna de retorno (TIR)

Busca calcular el rendimiento de las inversiones y de los beneficios obtenidos por la implementación de las alternativas de mejora. Se mide como la rentabilidad recibida por periodo a los largo de los n periodos.

Consiste en calcular el valor de la tasa de descuento (i) que origina el cumplimiento de la condición de factibilidad que relaciona ingresos y egresos, es decir, evalúa si la tasa especificada por la empresa cubre los egresos y la rentabilidad sobre el capital no amortizado.

Los criterios de evaluación financiera definidos brevemente en este apartado, permiten valorar correctamente todo tipo de situaciones produciendo siempre la misma conclusión sobre el análisis de los resultados económicos de la organización de mantenimiento. Se propone incluir ambos en la herramienta computacional con el fin de tener resultados que puedan ser analizados e interpretados por el usuario según su preferencia.

3.3 MODELO DE ANÁLISIS DUPONT

3.3.1 ¿Qué es modelo DuPont?

El modelo DuPont es una técnica utilizada para analizar la rentabilidad de una empresa utilizando herramientas tradicionales de gestión. Con el fin de ejecutar los procesos de análisis, el modelo DuPont integra elementos de contabilidad de

costos y del estado de resultados de la organización, es decir, combina los principales indicadores financieros con el fin de determinar la eficiencia con que la empresa está utilizando sus activos, su capital de trabajo y el multiplicador de capital.

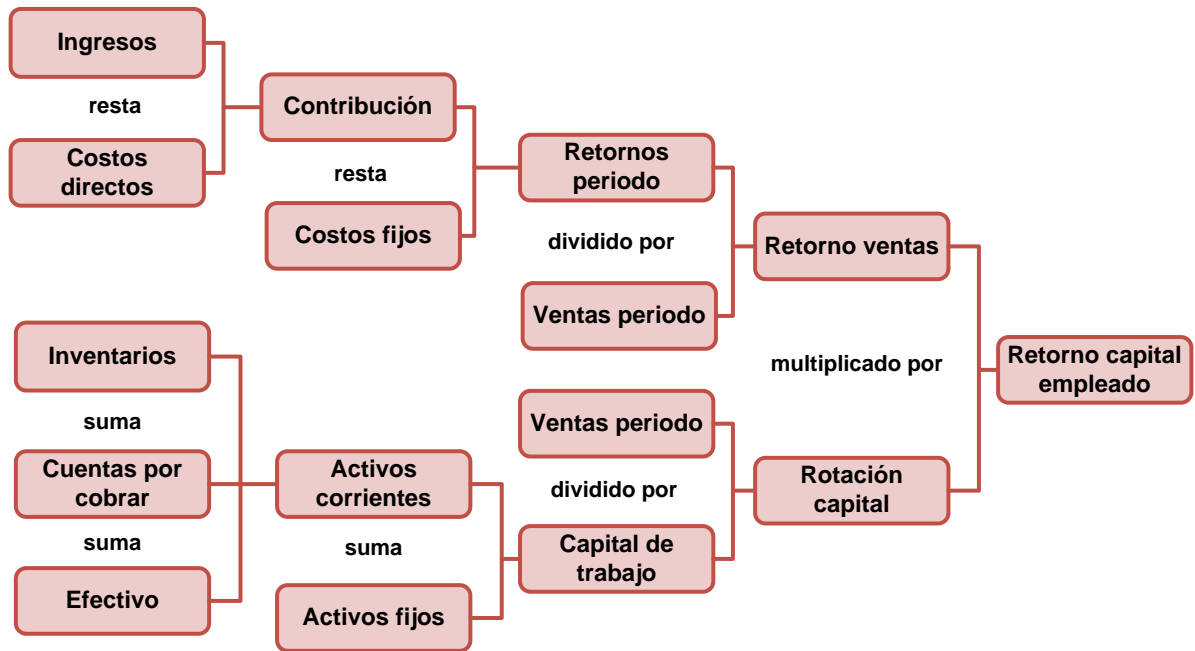
El modelo DuPont integra el margen neto de utilidades, la rotación de los activos y el apalancamiento financiero, estas tres variables son las responsables del crecimiento económico de una empresa la cual obtiene sus recursos o bien de un buen margen de utilidad en las ventas o del uso eficiente de sus activos fijos (lo que implica una buena rotación de estos).

Por otra parte, se cuantifica el efecto sobre la rentabilidad que tienen los costos por el uso del capital financiado para desarrollar sus operaciones. En definitiva, lo que permite el modelo DuPont es identificar la forma como la empresa está obteniendo su rentabilidad, lo cual lleva a identificar sus puntos fuertes o débiles.

Cabe anotar que este modelo de análisis financiero fue creado por F. Donaldson Brown, un ingeniero electricista quien hizo parte del departamento de finanzas del gigante de producción de químicos DuPont™ hacia el año 1914. En ese periodo de tiempo, DuPont™ adquirió el 23% de las acciones de General Motors Corp. y asignó a Brown la tarea de sanear las finanzas de la empresa. Este fue el primer esfuerzo y proceso de re-ingeniería a gran escala en los Estados Unidos y el mérito del ascenso de General Motors se debe a la planeación y sistemas de control creados e implementados por Brown.

En la siguiente figura se muestra el esquema del modelo de análisis DuPont.

Figura 10. Modelo de análisis DuPont



Fuente: El autor.

3.3.2 Aplicación del modelo DuPont para evaluar el impacto financiero del mantenimiento¹⁹

El objetivo principal de este trabajo de grado es documentar el impacto financiero de la implementación de las mejores prácticas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad en las organizaciones de mantenimiento. Es decir que resulta indispensable aplicar un modelo financiero de contribución con el objetivo de mostrar como el mantenimiento puede tener una alta incidencia en la rentabilidad de una empresa.

¹⁹CANEL, Cem y RISHEL, Tracy. Using a maintenance contribution model to predict the impact of maintenance on profitability. *En: Journal of Information and Optimization Sciences*. May-June, 2006, vol. 27, no. 1, p. 21-34.

Basados en la estructura del modelo de análisis DuPont antes definido, se evaluará el retorno del capital empleado como una medida de la efectividad de las actividades de mantenimiento.

Aunque la mayoría de altos ejecutivos en las empresas conciben el mantenimiento como un mal necesario o un servicio cuyo único propósito es reaccionar en situaciones de emergencia, la función de mantenimiento debe ser vista como un recurso que puede ser usado estratégicamente con el fin de mejorar la productividad y la rentabilidad del negocio.

Como ya se ha mencionado, los ingresos y costos se ven afectados por el impacto de la función de mantenimiento en la disponibilidad de los equipos. Al variar los niveles de mantenimiento, la gerencia puede influenciar de forma directa en el porcentaje de tiempo que los equipos están disponibles para producir bienes (medida de la capacidad). La disponibilidad de los equipos determina la capacidad de producción lograda, esta a su vez tiene incidencia en la rentabilidad de las ventas y en los costos de producción.

En conclusión, los ingresos, la producción y los costos para cada estrategia de mantenimiento pueden ser usados con el fin de ilustrar como el mantenimiento puede tener un papel significativo en el retorno del capital de trabajo empleado.

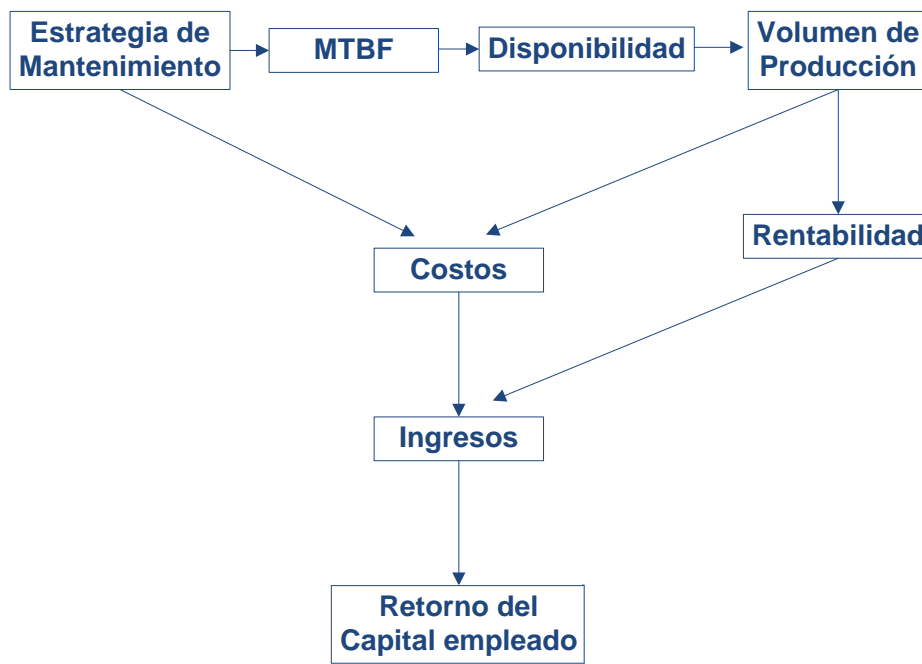
Evaluar la contribución de mantenimiento permite valorar como las diversas metodologías para la optimización de las estrategias de mantenimiento implementadas en las empresas, permiten reducir el número de veces que un equipo falla y por tanto la capacidad productiva de la planta aumenta.

La disminución del número de fallas incide sobre el tiempo medio entre fallas (MTBF) y los tiempos muertos de reparación (MTTR), por consiguiente, impactan directamente sobre la disponibilidad de los equipos.

El aumento de la disponibilidad permite que la empresa varíe el nivel de producción, el cual incide sobre la rentabilidad de las ventas y en los costos de producción.

La figura mostrada a continuación resume estas relaciones:

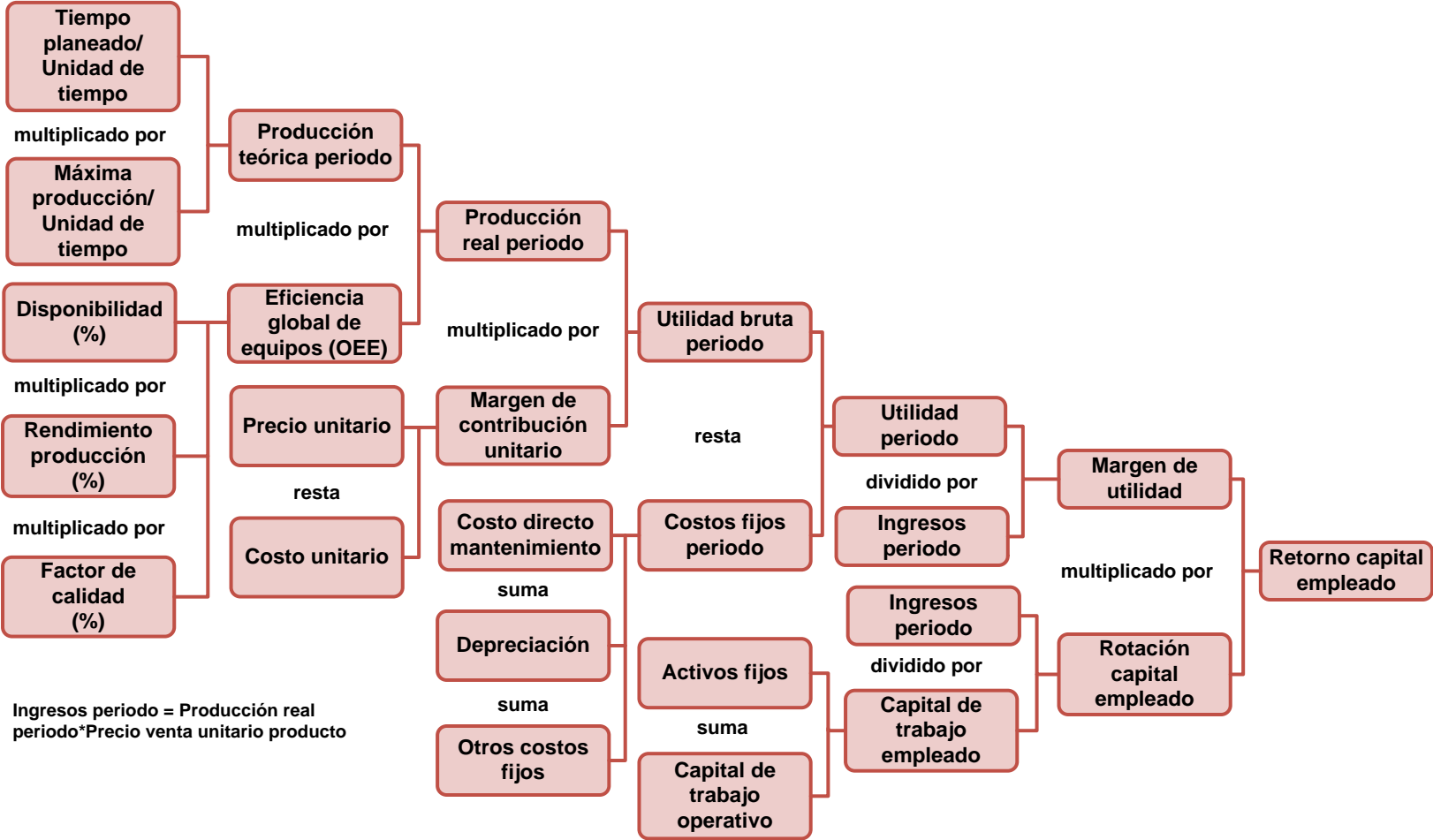
Figura 11. Relaciones en el modelo de contribución del mantenimiento



Fuente: CANEL, Cem y RISHEL, Tracy. Using a maintenance contribution model to predict the impact of maintenance on profitability. En: Journal of Information and Optimization Sciences. Mayo-Junio, 2006, vol. 27, no. 1, p. 5.

Con base en los lineamientos expuestos se plantea la estructura del modelo de análisis DuPont aplicado mantenimiento, cuya descripción detallada se muestra a continuación.

Figura 12. Modelo de análisis DuPont aplicado a mantenimiento



Fuente: El autor.

4. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

4.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN²⁰

Un sistema de información es un conjunto de elementos que interactúan entre sí con el fin de apoyar las actividades de una empresa como las operaciones diarias, la comunicación de datos e informes, la administración de las actividades y *la toma de decisiones*.

Un sistema de información realiza cuatro actividades básicas:

- ✓ Entrada de información: es el proceso mediante el cual el sistema de información toma los datos que requiere para procesar la información. Las entradas pueden ser manuales o automáticas. Las manuales son aquellas que se proporcionan en forma directa por el usuario, mientras que las automáticas son datos o información que provienen o son tomados de otros sistemas o módulos.
- ✓ Almacenamiento de información: el almacenamiento es una de las actividades más importantes, ya que a través de esta propiedad el sistema puede recordar la información guardada en el proceso.
- ✓ Procesamiento de información: es la capacidad del sistema de información para efectuar cálculos de acuerdo con una secuencia de operaciones preestablecidas. Esta característica de los sistemas permite la transformación de datos fuente en información que puede ser utilizada para la toma de decisiones.

²⁰SILVA GRANADA, Laura Jessenia y GAMBOA NIÑO, Andrés Julián. Software para la planeación y control de la producción aplicado a Industrias Tanuzi S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011. p. 73-74.

- ✓ Salida de información: la salida es la capacidad del sistema para sacar la información procesada o bien los datos de entrada al exterior. Es importante tener en cuenta que la salida de un sistema de información puede constituir la entrada a otro sistema o modulo.

4.1.1 Sistemas de información para el soporte de decisiones basados en hojas de cálculo

Un sistema para el soporte de decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) basado en hojas de cálculo es, en esencia, un sistema de información desarrollado en un software para el procesamiento de datos - en este caso Microsoft® Excel® - especialmente diseñado para apoyar la solución de un *problema de gestión* y la toma de decisiones no estructuradas²¹. Utiliza datos recopilados por el usuario, proporciona una interfaz amigable y permite la toma de decisiones en el propio análisis de la situación.

La gran mayoría de las decisiones administrativas no son de naturaleza recurrente (se presentan en contadas ocasiones) y son clasificadas en dos categorías:

- ✓ Estructuradas: los requerimientos de información y factores que deben considerarse, están definidos.
- ✓ No estructuradas: no existen procedimientos claros para tomarla y tampoco es posible identificar, con anticipación, todos los factores que deben considerarse en la decisión.

²¹SENN, James A. Análisis y diseño de sistemas de información. 2 ed. México: McGraw-Hill, 1991. p. 29.

Los DSS no están destinados a reemplazar a la persona que toma las decisiones, sino que buscan extender sus capacidades para sustentar el proceso que los lleva a escoger una alternativa específica.

En el caso de decisiones no estructuradas, no resulta sencillo ponderar los factores con el fin de dar prioridad a alguno en particular. Los DSS permiten organizar y evaluar individualmente los resultados de cada situación en aras de determinar cuál escenario conlleva al resultado deseado con mayor eficiencia y eficacia.

El desarrollo de los DSS basados en modelos programados en hojas de cálculo de Microsoft® Excel® es relativamente reciente y se ha fortalecido dado que Excel® ofrece la funcionalidad de almacenar y organizar datos y, realizar cálculos en una interfaz gráfica intuitiva y amigable. Por otra parte, mediante el uso paquetes adicionales para el procesamiento de datos llamados “Add-Ins” es posible ejecutar cálculos simultáneos, solucionar problemas matemáticos y visualizar los resultados según las preferencias del usuario.

4.1.2 Maintenance Organization Assessment Tool - MOAT©

Si bien se planteó que las herramientas de software para la gestión de mantenimiento (CMMS, EAM, etc.) proveen medios de revisión de los datos históricos (horas hombre totales, costo de materiales, servicios, etc.) que permiten orientar las acciones del colectivo, en ellas no es posible organizar y documentar toda la información necesaria con el fin de evaluar las tendencias de los costos y analizar los indicadores de gestión enlazados con los resultados financieros para cada periodo de tiempo especificado por el usuario.

MOAT© (Maintenance Organization Assessment Tool ©) es una herramienta computacional que surge de la necesidad de integrar todos los datos de costos y

de desempeño en una sola instancia; esta cae dentro de la categoría de los sistemas de información para el soporte de decisiones (DSS) basados en hojas de cálculo de Microsoft® Excel®.

MOAT© fue diseñada y desarrollada para la evaluación de las organizaciones de mantenimiento a través de la documentación de los costos de la gestión y ejecución del mantenimiento y el análisis del desempeño asociado periodo a periodo al nivel de las plantas/facilidades y de los sistemas. Facilita la inclusión de datos históricos y proyectados en función del horizonte de tiempo y del número de periodos que el usuario desee analizar; permite también incluir los costos de producción con el fin de evaluar el impacto real del mantenimiento sobre los ingresos de la empresa y comparar los indicadores de gestión y desempeño con respecto a valores de referencia.

4.2 DISEÑO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

4.2.1 Metodología

El diseño de la herramienta computacional está basado en la forma en que se maneja la información en la mayoría de las organizaciones de mantenimiento.

La metodología que se seguirá comprende las siguientes actividades:

1. Estudiar y definir los requerimientos y las variables de entrada.
2. Determinar las operaciones que se deben ejecutar con el fin de obtener los resultados deseados.
3. Identificar como debe ser el flujo de información así como las relaciones entre cada una de las entradas o variables en cada uno de los módulos.

4. Establecer y describir la estructura general o el desarrollo del modelo de la herramienta (desarrollo de la interfaz gráfica) así como la forma de presentación de las salidas y/o reportes.

4.2.2 Requerimientos de seguridad

No existe ningún tipo de necesidad de protección especial para acceder a la herramienta ya que estará disponible para que sea utilizada por cualquier persona. El usuario podrá exportar e importar los datos cuando lo considere necesario para no tener que empezar de cero cada vez que ejecute la herramienta, sin embargo no se incluye ningún método de protección de dichos datos.

Se plantea que ni el nombre de la Universidad Industrial de Santander, ni el de los responsables del diseño y desarrollo de la herramienta computacional como parte de este trabajo de grado, deberán ser excluidos en cualquier producto derivado del uso de la misma.

4.2.3 Requerimientos generales

En la actualidad no existe una *herramienta financiera* suficientemente detallada que incluya todas las imputaciones de las órdenes de trabajo (costos directos) y de la organización, mandos y gastos administrativos (costos indirectos), por estrategia (correctivo, preventivo, predictivo, etc.) y para cada una de las instalaciones (unidades productivas/plantas/facilidades).

Es importante que en la misma herramienta sea posible documentar y analizar los indicadores de gestión y desempeño, ejecutar procesos de benchmarking contra valores de referencia de dichos indicadores y, evaluar el impacto financiero de la implementación de las mejores prácticas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad en las organizaciones de mantenimiento.

La determinación de los requerimientos hace referencia al conjunto de tareas que permiten obtener las características que deberá poseer la herramienta computacional. Este es el primer paso en el proceso de diseño y es considerado el más importante. Los requerimientos de la herramienta computacional de acuerdo con los objetivos del trabajo de grado y las necesidades antes planeadas son:

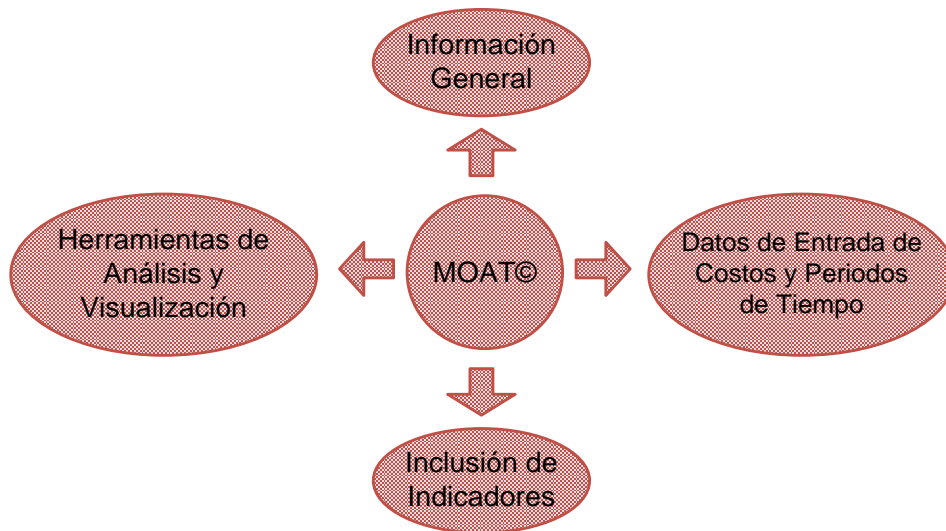
- ✓ Organizar la información para cada empresa en función de su estructura operacional (distribución de plantas y sistemas), además de generar los formularios para la inclusión de datos en función del número de periodos históricos y proyectados que el usuario desee y en función de la separación entre cada uno de los periodos (semestral, anual, bienio, etc.).
- ✓ Una interfaz que permita recolectar, organizar y procesar todos los datos de costos de ejecución de las tareas de mantenimiento con el fin de totalizar los costos directos de mantenimiento.
- ✓ Incluir los ítems de costos que deben ser tenidos en cuenta dentro de la administración de la organización de mantenimiento con el fin de totalizar los costos indirectos de mantenimiento, teniendo en cuenta que los niveles administrativos varían de una empresa a otra y se deben abarcar todas las variantes posibles.
- ✓ Imputar los costos de inversiones y de consultoría que son cargadas a la organización de mantenimiento, estos costos son importantes ya que a los encargados de la administración les interesa controlarlos y poder visualizar los beneficios obtenidos.
- ✓ Se debe incluir herramientas de análisis que permitan comparar los resultados periodo a periodo.

- ✓ Es importante evaluar y visualizar la evolución de los costos de mantenimiento, es decir que se deben generar reportes y graficas que permitan conocer el estado de los resultados obtenidos.

La propuesta de solución a estos requerimientos en la herramienta computacional consta de los siguientes módulos:

- ✓ Un módulo para inclusión de la información global de la empresa y la estructura operacional de la misma (distribución de facilidades y sistemas).
- ✓ Un módulo para la especificación del horizonte de tiempo para el proceso de análisis y la inclusión de costos de mantenimiento periodo a periodo. En este módulo se deberá especificar la moneda (pesos colombianos, dólares americanos, euros, etc.), los costos directos, los costos indirectos y las inversiones.
- ✓ Un módulo para la inclusión de los indicadores periodo a periodo.
- ✓ Un módulo para herramientas de análisis y visualización en el que el usuario pueda visualizar los tableros de costos facilidad a facilidad, los flujos de caja totalizados o por planta/facilidad, calcular el VPN y/o la TIR, analizar el retorno del capital empleado mediante el modelo de análisis DuPont, hacer benchmarking y graficar diferentes pie charts, barras, etc., que le permitan interpretar los resultados.

Figura 13. Módulos MOAT©



Fuente: El autor.

4.2.4 Entradas y salidas en cada módulo

Las variables de entrada y salida deben ser organizadas con el fin de que el usuario no tenga inconvenientes en la inclusión de los datos y que la información sea procesada adecuadamente para obtener los resultados deseados. La herramienta debe ser diseñada de tal manera que la secuencia de generación de formularios sea coherente y que se generen mensajes de error o alertas cuando el usuario ingrese información incorrecta.

4.2.4.1 Entradas

Las entradas hacen referencia a la información suministrada por el usuario con el fin de alimentar las tablas de datos que se almacenan en la herramienta y que permitirán relacionar las diferentes variables. Las entradas deben poderse modificar y/o eliminar según las necesidades del usuario. A continuación se listan las entradas más importantes en cada módulo:

✓ Módulo información general:

Generalidades de la empresa: nombre de la empresa, ubicación, ejecutor del análisis y el sector productivo.

Distribución de facilidades y sistemas: nombre de las facilidades (para referirse a unidad productiva/planta/facilidad), comentarios y/o descripción de la mismas, nombre del (los) sistema (s) y comentarios y/o descripción de los mismos.

✓ Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo:

Horizonte de tiempo: separación entre periodos, mes/año de inicio del ejercicio, número de periodos históricos y número de periodos proyectados.

Moneda: pesos colombianos, dólares americanos o euros.

Costos directos de mantenimiento: los datos de entrada se detallan en las tablas 4 y 5. Para calcular los costos de las labores de mantenimiento en los periodos históricos se deben especificar el costo unitario de la hora hombre bien sea promedio o por especialidad (eléctrico, mecánico e instrumentación) y el número de horas hombre totales por cada tipo de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo, paradas de planta y otras actividades). En los periodos proyectados dichos, costos serán incluidos totalizados por el usuario.

Costos indirectos de mantenimiento: los datos de entrada se detallan en la tabla 3.

Inversiones/Ingeniería: los datos de entrada se detallan en la tabla 3.

- ✓ Módulo inclusión indicadores de mantenimiento:

Indicadores (tanto al nivel de facilidades como sistemas): MTBF, MTTR, MTTF, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, tiempo disponible y tiempo no disponible, etc.

- ✓ Módulo de herramientas de análisis y visualización:

Tableros de costos: se debe especificar de cuáles facilidades se desean ver los tableros.

Flujos de caja: el usuario debe especificar si desea visualizar los flujos de caja por facilidad o totalizadas todas las facilidades. Es posible que en algún caso una facilidad se encuentre en otro lugar o el mantenimiento sea ejecutado por un tercero. También se debe especificar qué criterio de evaluación financiera dese analizar (VPN y/o TIR).

Análisis DuPont: los datos de entrada se detallan en la figura 12, los únicos datos que son extraídos de otros módulos son los costos directos totales de mantenimiento.

Benchmarking: se incluyen en el módulo de inclusión de indicadores.

Gráficas/Distribuciones: no requiere entradas.

4.2.4.2 Salidas/Resultados

Las salidas es la información mostrada por la herramienta de acuerdo con las entradas y la organización que haya sido definida en el proceso de diseño. A continuación se listan las salidas más importantes en cada módulo:

- ✓ Módulo información general: se generan las estructuras de los tableros de costos a partir de la distribución de facilidades y sistemas detallada por parte del usuario.
- ✓ Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo: se generan las formas para la inclusión de datos en función del horizonte de tiempo especificado por el usuario. Por otra parte, con base en los costos hora hombre y del número de horas hombre totales, se calculan los costos totales de ejecución del mantenimiento para los periodos históricos.
- ✓ Módulo inclusión de indicadores: este módulo no tiene salidas.
- ✓ Módulo de herramientas de análisis y visualización:

Tableros de costos: muestra los tableros de costos periodo a periodo para cada facilidad separando los detalles de costos directos, indirectos, inversiones/ingeniería y costos de no mantenimiento.

Flujos de caja: muestra los flujos de caja totalizados incluyendo todas las facilidades o alguna facilidad en particular si el usuario así lo desea y los criterios de evaluación financiera.

Análisis DuPont: muestra el retorno del capital empleado en función de los periodos que el usuario haya seleccionado para calcular y mostrar. Es importante anotar que el análisis DuPont aplica si y sólo si el análisis se hace para periodos mayores a un año ya que el estado general de resultados el cual provee la gran mayoría de datos necesarios para este análisis se elabora en las empresas año a año.

Indicadores/Benchmarking: muestra la evolución de los indicadores al nivel de facilidad o sistema, la comparación de los indicadores por facilidad con los indicadores de referencia de acuerdo con los periodos que el usuario haya seleccionado y la tabla que permite analizar otro listado de indicadores.

Gráficas/Distribuciones: muestra las gráficas y/o distribuciones que el usuario haya seleccionado. Se dejarán algunas gráficas que podrán ser visualizadas por defecto ya que resulta muy complejo cubrir todas las posibles variaciones.

4.2.5 Algoritmos de programación de la herramienta computacional

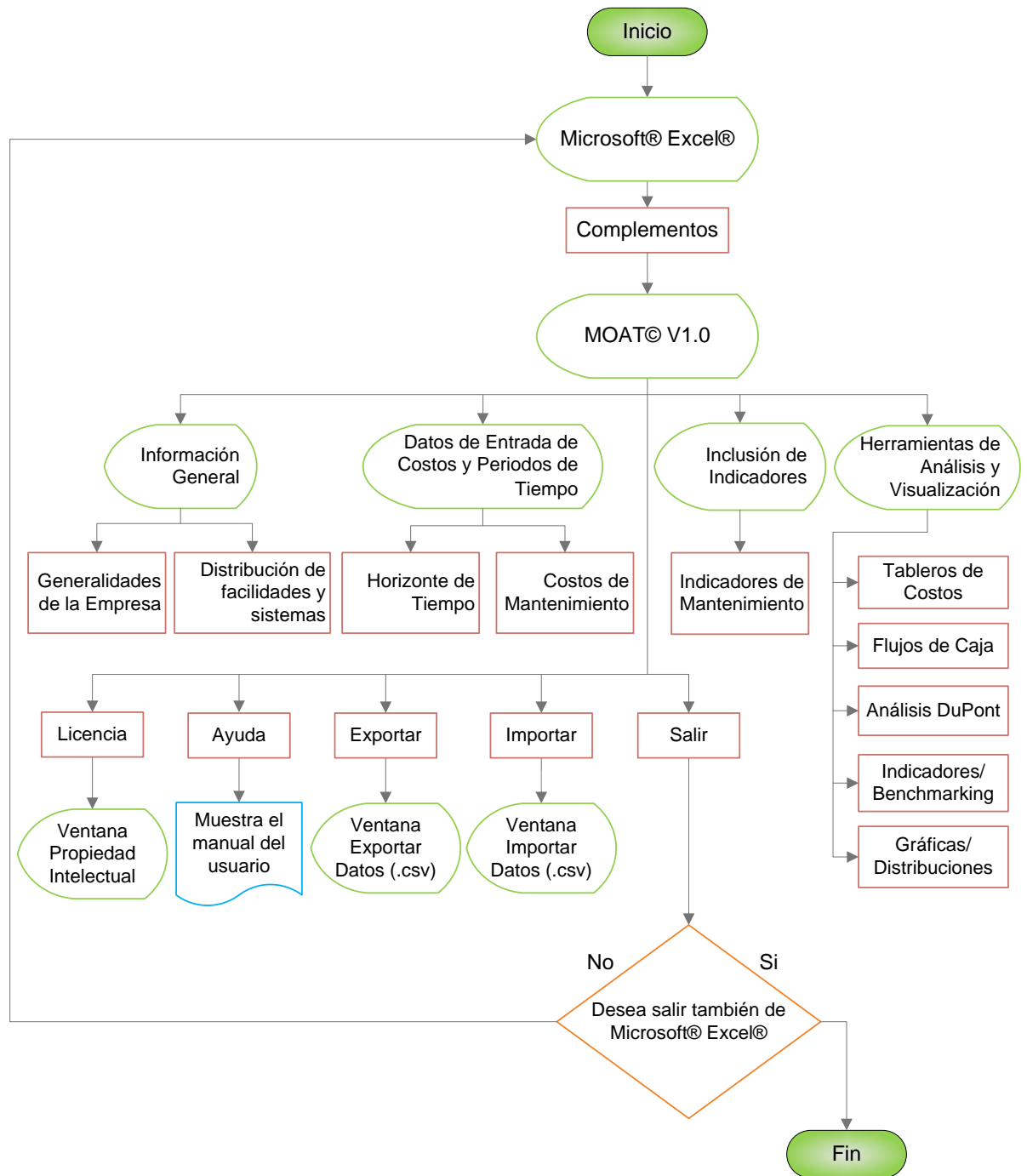
Una vez identificadas las necesidades o requerimientos y las soluciones priorizadas ofrecidas por la herramienta computacional, se elaboran los algoritmos de programación por medio de diagramas de flujo.

Un diagrama de flujo es una herramienta gráfica que se emplea para describir y analizar el movimiento de datos a través de un sistema, ya sea que éste fuera manual o automatizado, incluyendo procesos, lugares para almacenar datos y retrasos en el sistema. Los diagramas de flujo de datos son la herramienta más importante y la base sobre la cual se desarrollan otros componentes de los sistemas de información²².

En las siguientes figuras se muestran los diagramas lógicos de flujo de datos en cada instancia o módulo de la herramienta computacional, los cuales detallan la transformación de datos de entrada en salidas por medio de estructuras lógicas.

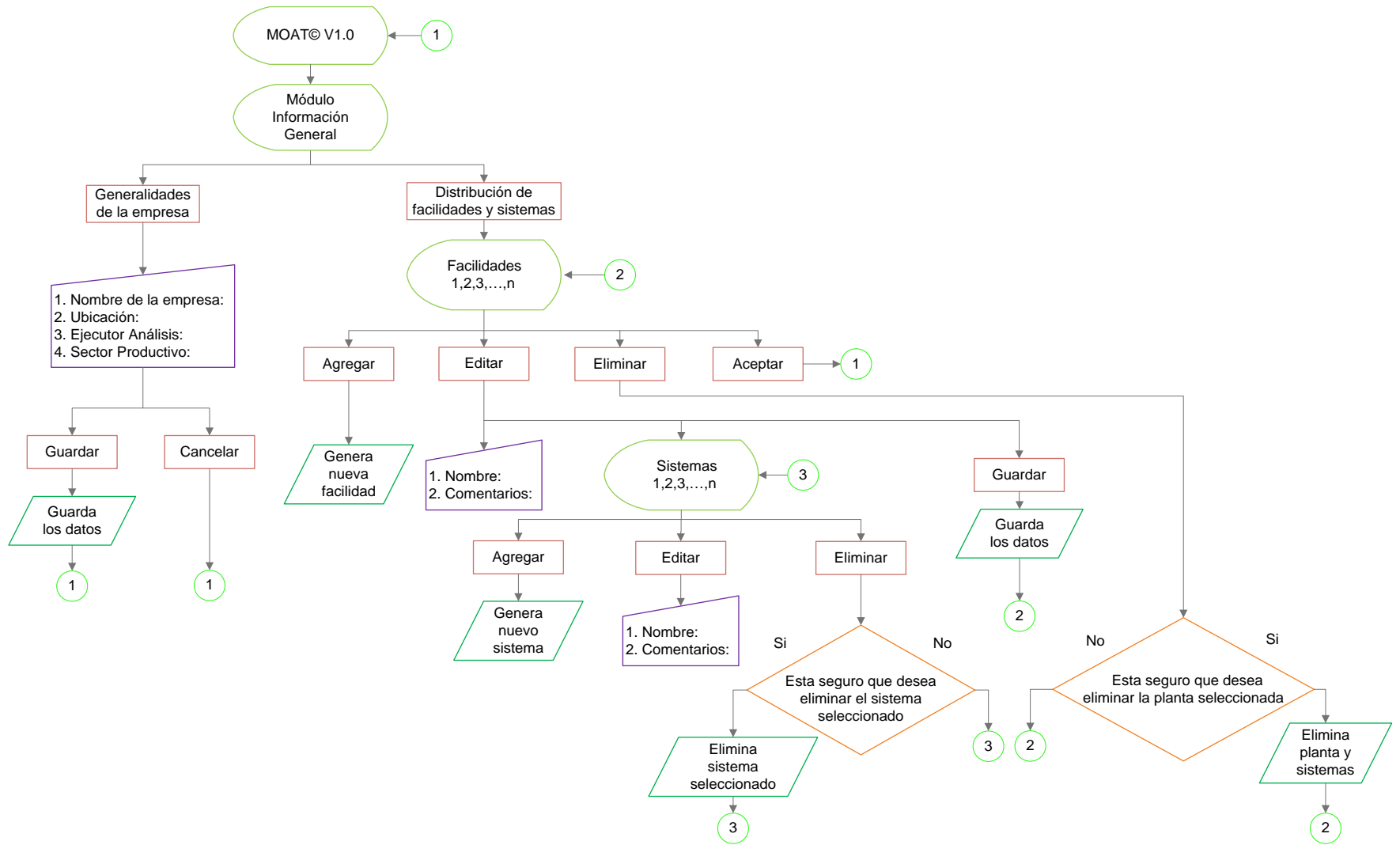
²²SENN, James A. Análisis y diseño de sistemas de información. 2 ed. México: McGraw-Hill, 1991. p. 178.

Figura 14. Ingreso a la herramienta computacional



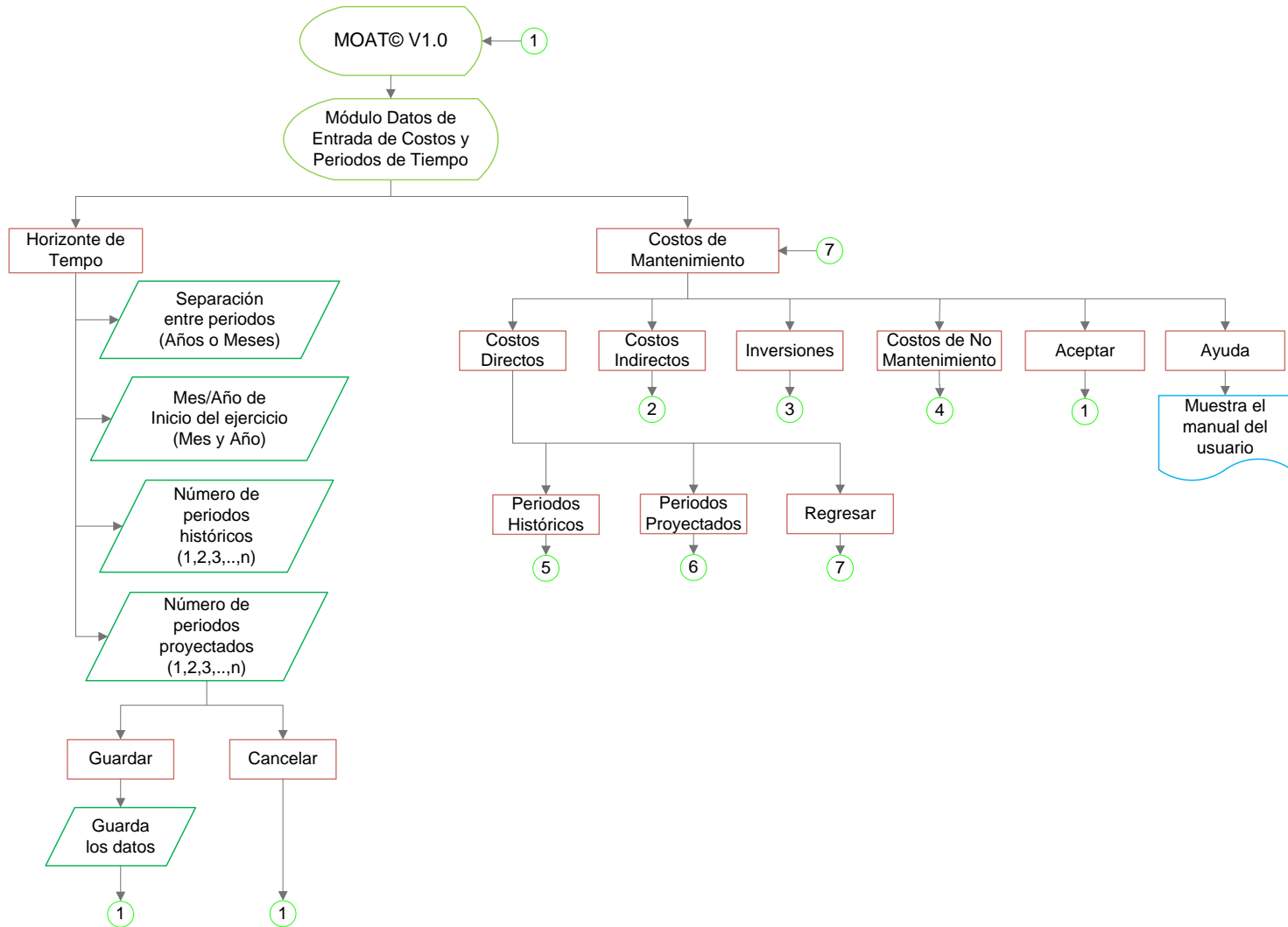
Fuente: El autor.

Figura 15. Módulo información general



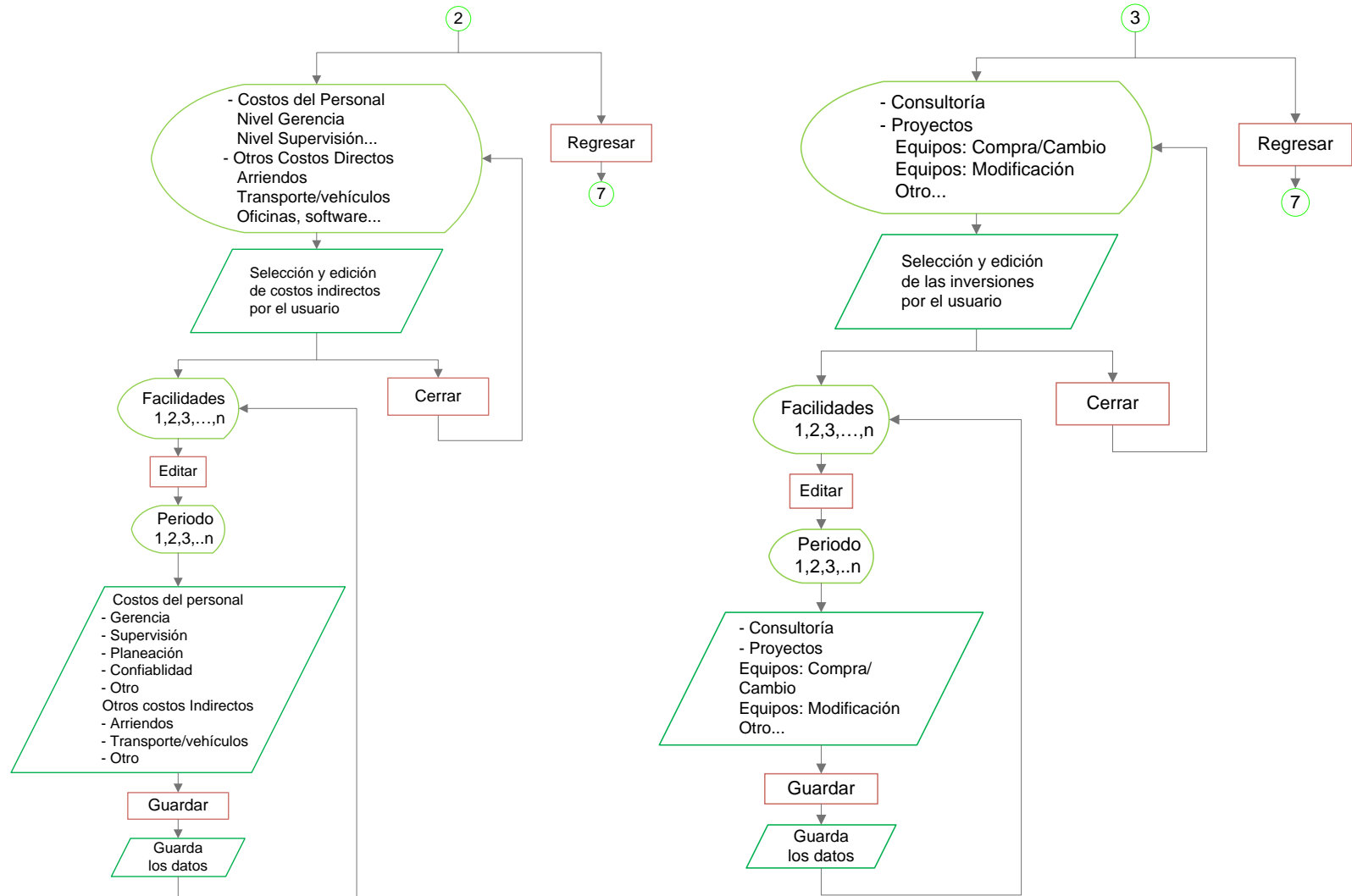
Fuente: El autor.

Figura 16. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo



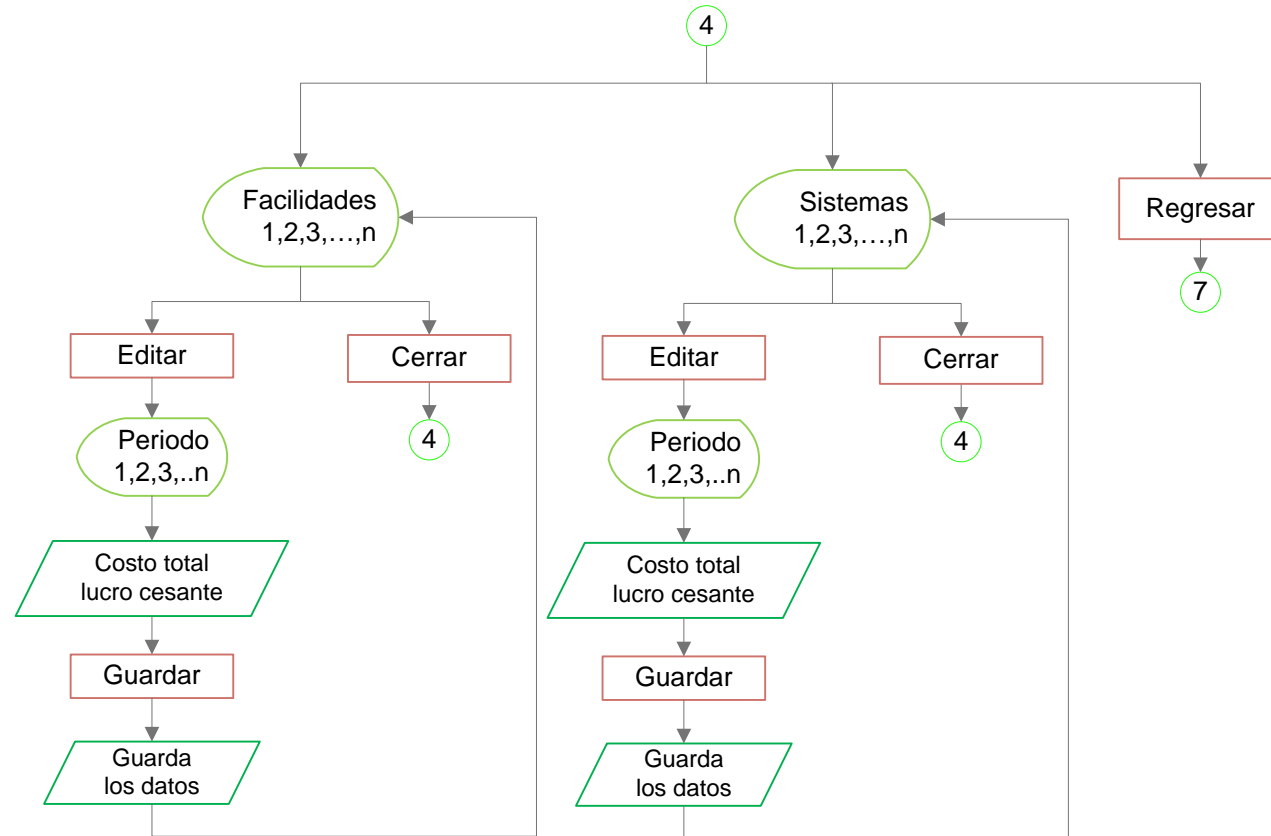
Fuente: El autor.

Figura 17. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos indirectos/Inversiones)



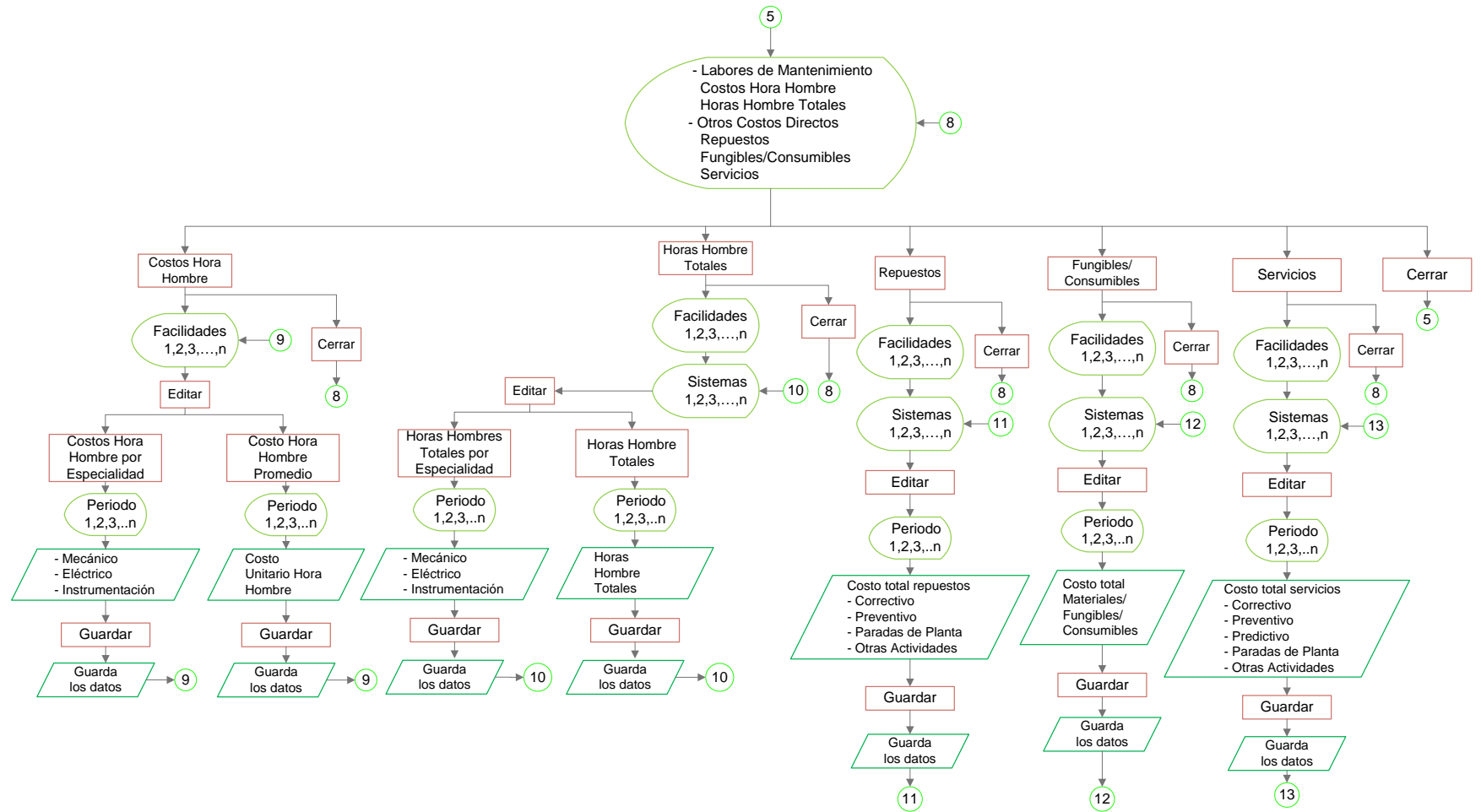
Fuente: El autor.

Figura 18. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos de no mantenimiento)



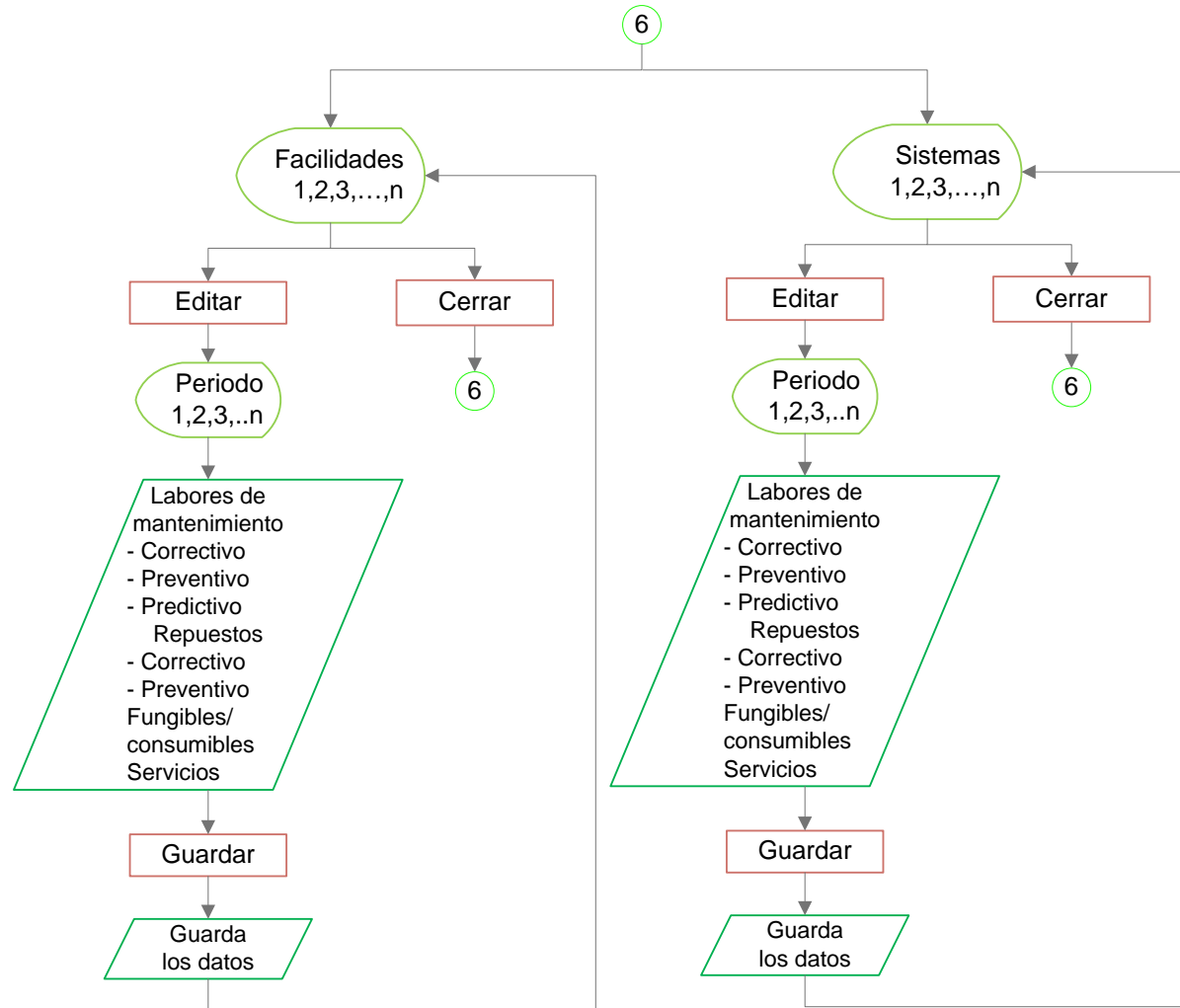
Fuente: El autor.

Figura 19. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos directos, periodos históricos)



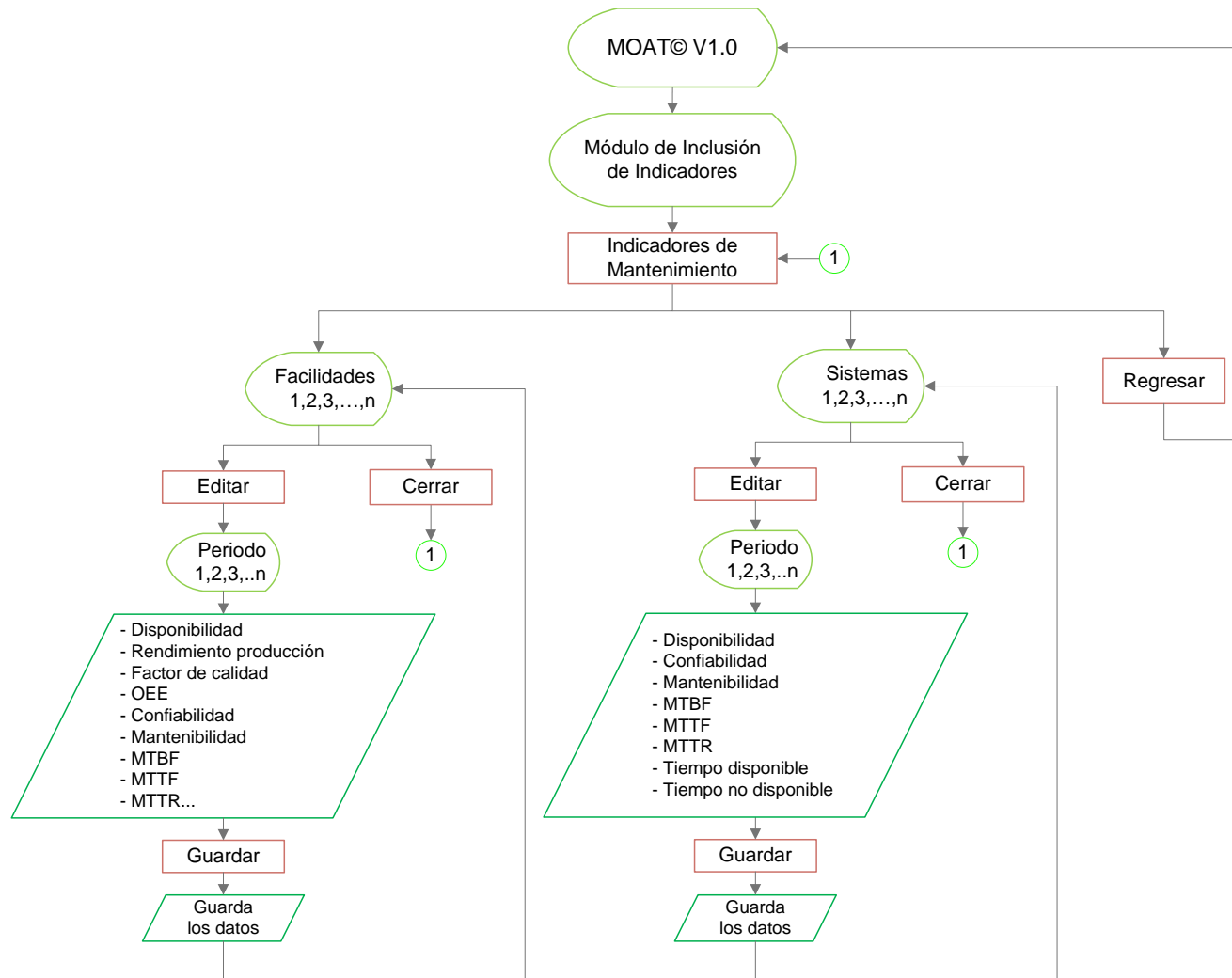
Fuente: El autor.

Figura 20. Módulo datos de entrada de costos y periodos de tiempo (Costos directos, periodos proyectados)



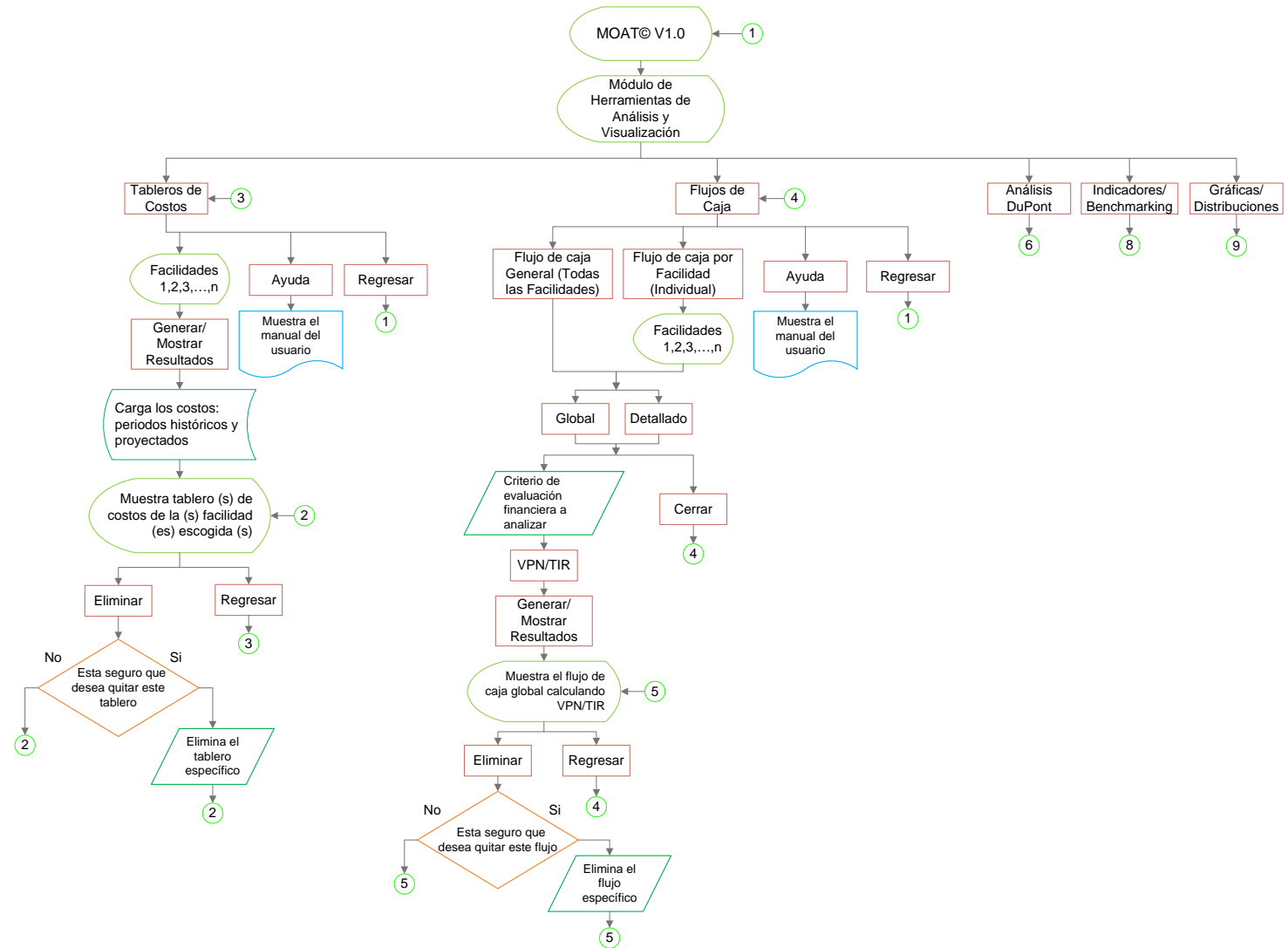
Fuente: El autor.

Figura 21. Módulo inclusión de indicadores



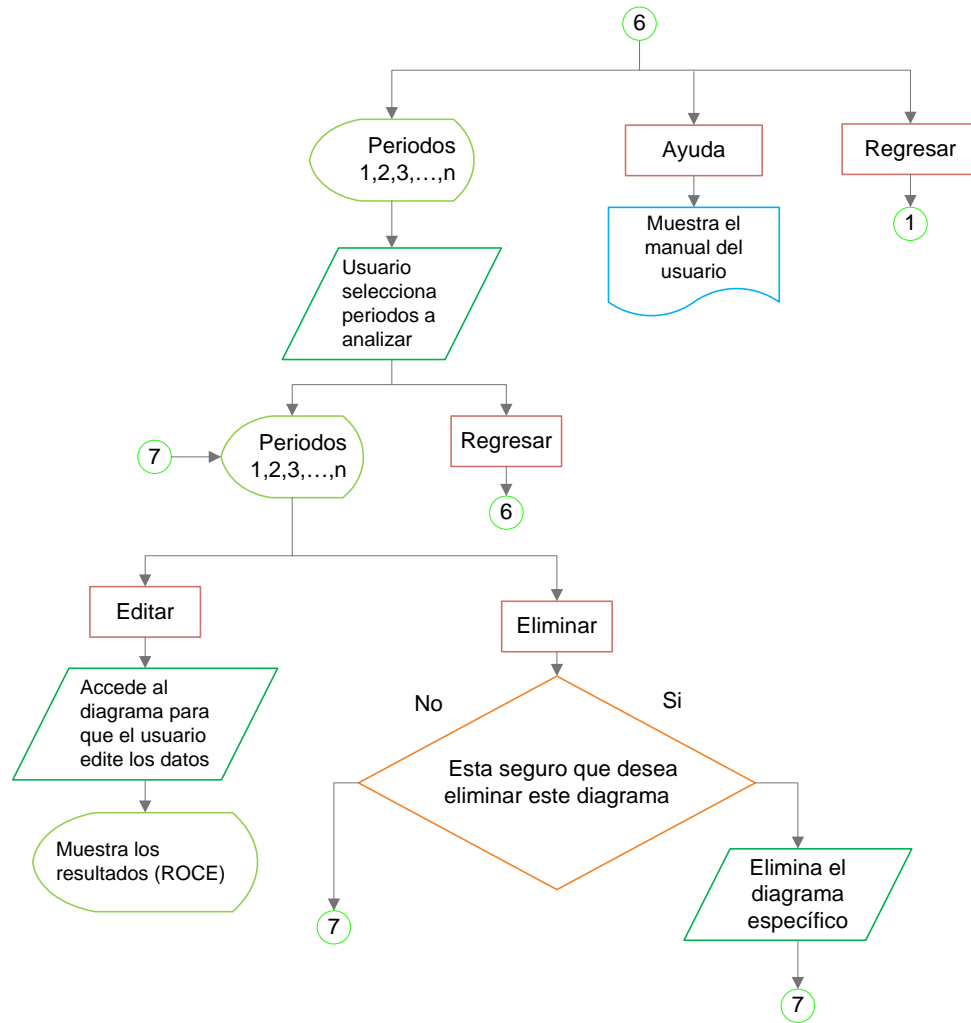
Fuente: El autor.

Figura 22. Módulo herramientas de análisis y visualización



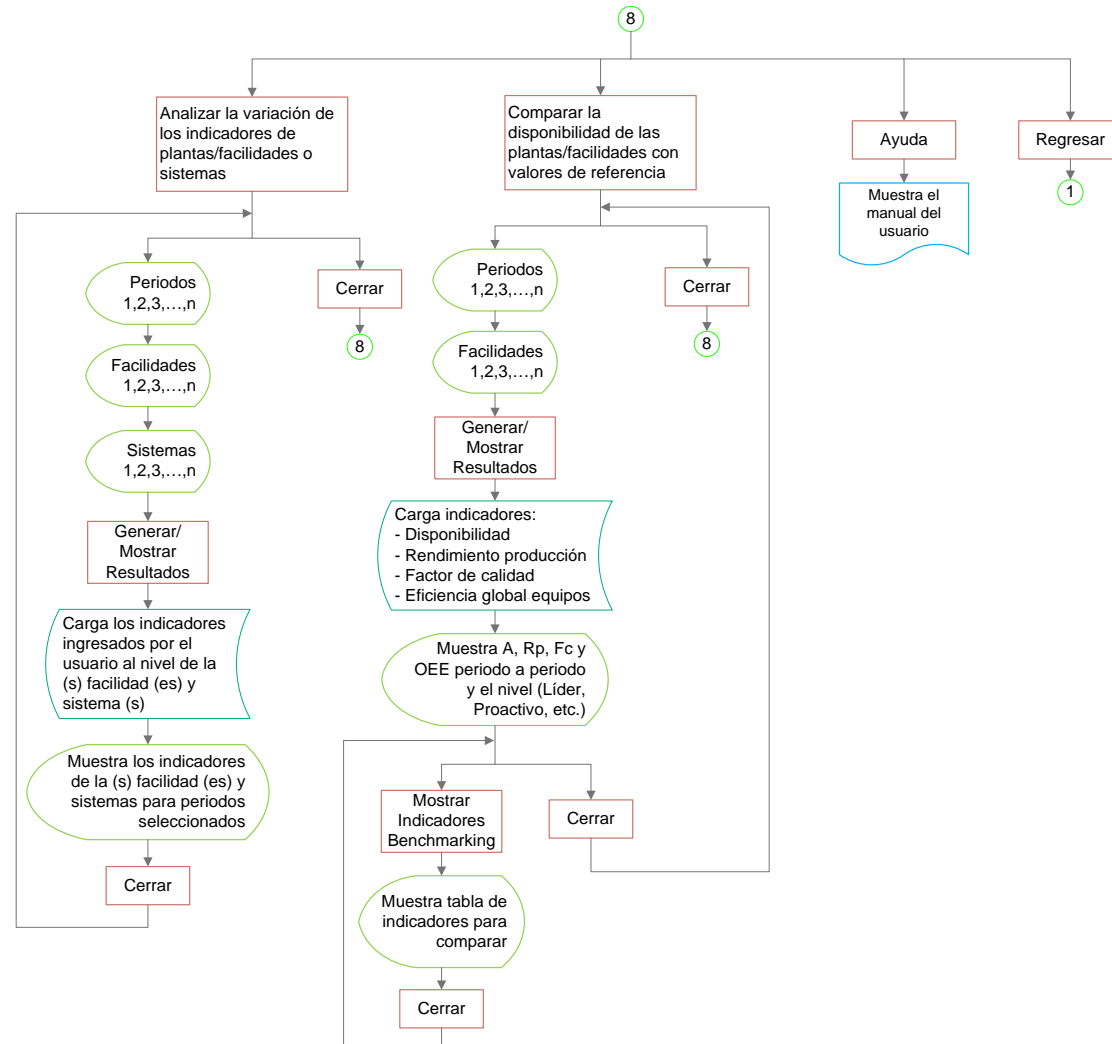
Fuente: El autor.

Figura 23. Módulo herramientas de análisis y visualización (Análisis DuPont)



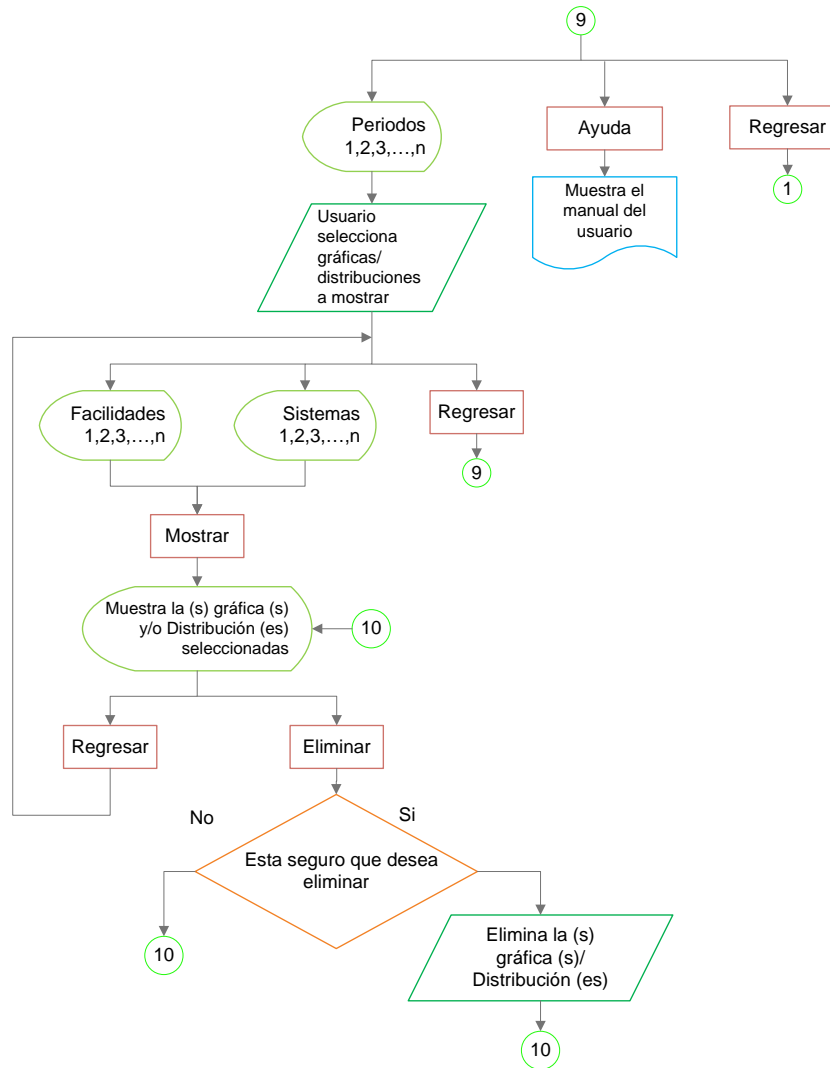
Fuente: El autor.

Figura 24. Módulo herramientas de análisis y visualización (Indicadores/Benchmarking)



Fuente: El autor.

Figura 25. Módulo herramientas de análisis y visualización (Gráficas/Distribuciones)



Fuente: El autor.

4.2.6 Desarrollo del modelo de la herramienta computacional: diseño de la interfaz gráfica

Identificadas las entradas y salidas, el flujo que debe seguir la información y las conexiones entre los diferentes módulos, se inicia el proceso de diseño de la interfaz gráfica la cual debe ser completa, amigable y clara para el usuario. En este caso no existe un usuario final definido, es decir que el diseño de la interfaz gráfica debe ser aplicable en cualquier situación. Lo anterior impone un reto adicional ya que la herramienta se debe adaptar a los diferentes escenarios que surjan en función de las necesidades de los usuarios.

En primera instancia se plantearon múltiples alternativas que tenían como objetivo recoger toda la información sobre las tareas que se ejecutarían en la herramienta computacional e ilustrar la forma de presentación de los resultados, dichas alternativas fueron evaluadas en conjunto con los ingenieros de mantenimiento y confiabilidad de la empresa dónde se ejecutó el análisis piloto. Se hicieron varias revisiones con el fin de mejorar y optimizar el flujo de información y, con base en las recomendaciones recibidas se definieron las características, organización, apariencia y el funcionamiento de la interfaz gráfica. Las primeras propuestas de la interfaz gráfica se hicieron en el módulo “Programador” de Microsoft® Excel® 2010 con el fin de presentarlas lo más cercanas a la realidad posible y en el formato final de programación. En el Anexo B se muestran en detalle las diversas ventanas que se elaboraron teniendo en cuenta los aspectos de diseño y el flujo de la información.

En última instancia se incluyó en el equipo de trabajo el ingeniero especialista en programación. En la fase de programación y desarrollo final de la herramienta computacional, se integraron diversos formularios para la inclusión de datos teniendo en cuenta las limitaciones de la plataforma de desarrollo (especificada en el siguiente párrafo) y de acuerdo con la experiencia del ingeniero programador.

Adicionalmente, se elaboró un manual con el fin de facilitar a los usuarios el entendimiento de la interfaz gráfica y guiarlos en el uso la herramienta computacional (ver Anexo C).

4.3 PLATAFORMA DE DESARROLLO

La herramienta computacional fue desarrollada en Microsoft® Windows® 7 SP1 usando Excel® 2010, Excel® permite crear múltiples aplicaciones útiles y simples que realicen los cálculos y procesos repetitivos automáticamente al mismo tiempo que se obtienen resultados en apenas unos segundos. Es posible obtener un mayor rendimiento de la hoja de cálculo a través de la programación de los procedimientos que el usuario desee crear y utilizar en lo que se conoce como una macro de Excel®.

Una macro se puede definir como: “un programa dentro de la misma hoja que automatiza una serie de trabajos: una macro podrá, por ejemplo, hacer una impresión de forma automática, sin tener que definir cada vez una base de datos, si ésta es modificada periódicamente. No se deberán definir cada vez rangos, ni gráficos cuando varíen. La macro lo hará automáticamente...”²³

Las macros de Excel® 2010 son programadas en Microsoft® Visual Basic® para Aplicaciones (VBA, por sus siglas en inglés). En el Anexo D se describe en detalle este lenguaje de programación.

²³PALLEROLA, Joan. Los Macros en Microsoft® Excel® 2010. 2 ed. Madrid: RA-MA Grupo Editor, 2011. p. 16.

5. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

5.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE Y SOFTWARE

No existen requerimientos específicos de hardware y software. Cualquier usuario que tenga instalado Microsoft® Excel® 2007, 2010 o 2013 podrá hacer uso de la herramienta computacional ya que el archivo fue programado con compatibilidad para todas estas versiones, esto con el fin de proveer una mayor versatilidad en su uso por parte de los usuarios.

Se han hecho todos los esfuerzos posibles con el fin de evitar errores de compatibilidad pero, teniendo en cuenta que los procedimientos se escriben en Microsoft® Visual Basic® para Aplicaciones (VBA) versión 7.0, es posible que ocurran problemas debido a la ubicación de las librerías. Estos problemas ocurren cuando Excel® es actualizado y los directorios de acceso a las librerías de Visual Basic® son cambiados. Este error puede ser reparado al corregir la ubicación de las librerías: abrir el editor de VBA (en la ventana principal de Excel®, presionar Alt+F11), en el menú “Herramientas” seleccionar “Referencias”, luego seleccionar la librería que fue modificada y finalmente buscarla con el fin de ubicar el directorio correcto. No es posible establecer un único procedimiento para la reparación del error antes mencionado pues los directorios y la ubicación de los archivos de instalación varían en cada equipo de cómputo.

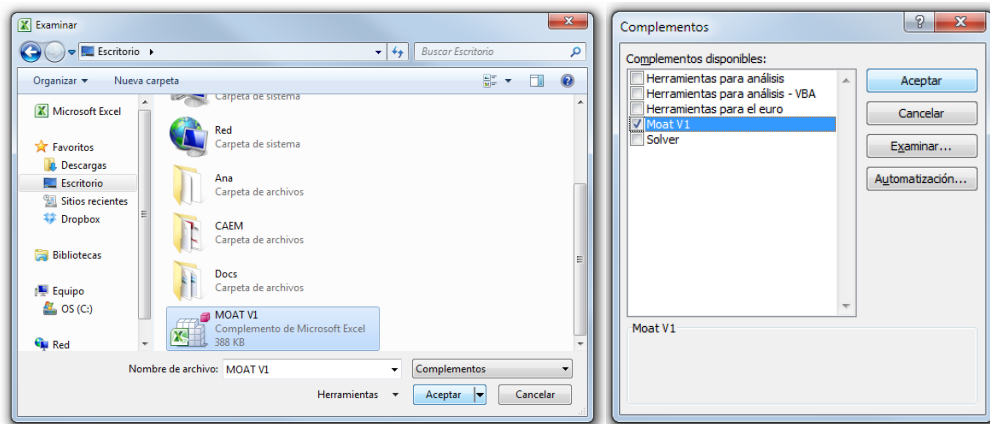
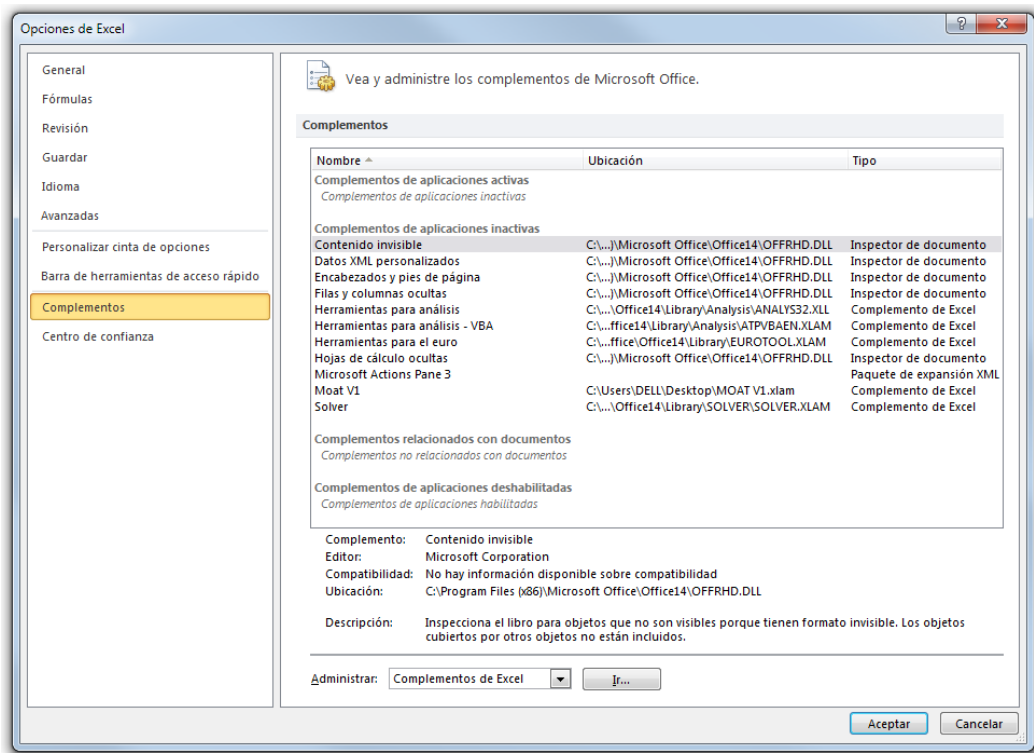
5.2 CONFIGURACIÓN Y ACCESO A LA HERRAMIENTA EN MICROSOFT® EXCEL®

En Microsoft® Excel® vaya a:

Archivo/Opciones/Complementos/Administrar/Complementos/Ir.

Haga click sobre “Examinar” y localice el directorio dónde se encuentra el archivo de la herramienta. Seleccione el archivo y presione “Aceptar”, luego verifique que el complemento o “Add-in” de la herramienta se encuentre habilitado, es decir, seleccionada la casilla de verificación y presione “Aceptar”.

Figura 26. Opciones de Excel® y carga del archivo de la herramienta



Fuente: El autor.

Una vez haya finalizado el proceso de carga, en la barra de herramientas de Excel®, vaya al menú “Complementos” para verificar y ejecutar la herramienta.

Figura 27. Acceso a la herramienta en Excel®



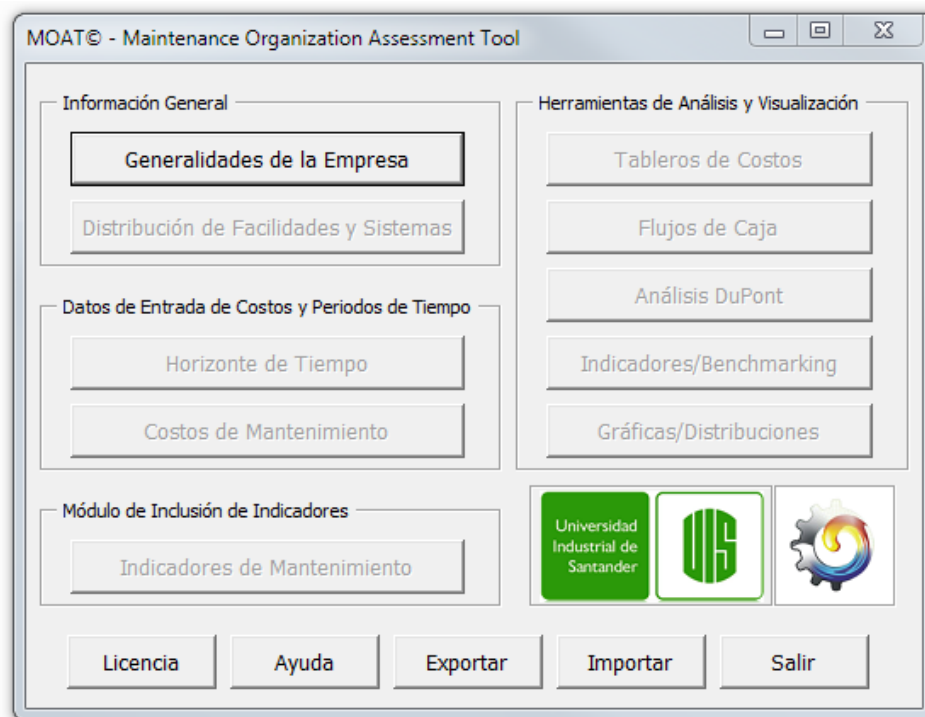
Fuente: El autor.

Cabe anotar que el procedimiento de configuración de la herramienta en Microsoft® Excel® solo se ejecuta una sola vez y es el mismo en todas las versiones de Excel® (2007, 2010 y 2013); siempre que el usuario ejecute Excel® la herramienta estará disponible en el menú “Complementos”. Si el usuario desea quitar el botón de acceso de la barra de herramientas de Excel®, deberá ejecutar el mismo procedimiento que se realiza para cargar el archivo y en la ventana “Complementos” hacer click en la casilla de verificación “Moat V1” y luego sobre el botón de comando “Aceptar”. En las siguientes secciones se muestran las ventanas para la inclusión de datos y el formato de presentación de los resultados.

5.3 VENTANA PRINCIPAL

Una vez que el usuario ingresa a la herramienta se despliega la ventana principal. Los diferentes módulos se muestran separados con marcos y señalados con un título. El ingreso de datos y la habilitación de las herramientas de análisis y visualización en la ventana principal son secuenciales, es decir, una vez el usuario haya especificado por lo menos un dato necesario para generar tableros de costos, flujos de caja, etc., se habilitarán los botones de comando correspondientes en el módulo “Herramientas de Análisis y Visualización”.

Figura 28. Ventana principal MOAT©



Fuente: El autor.

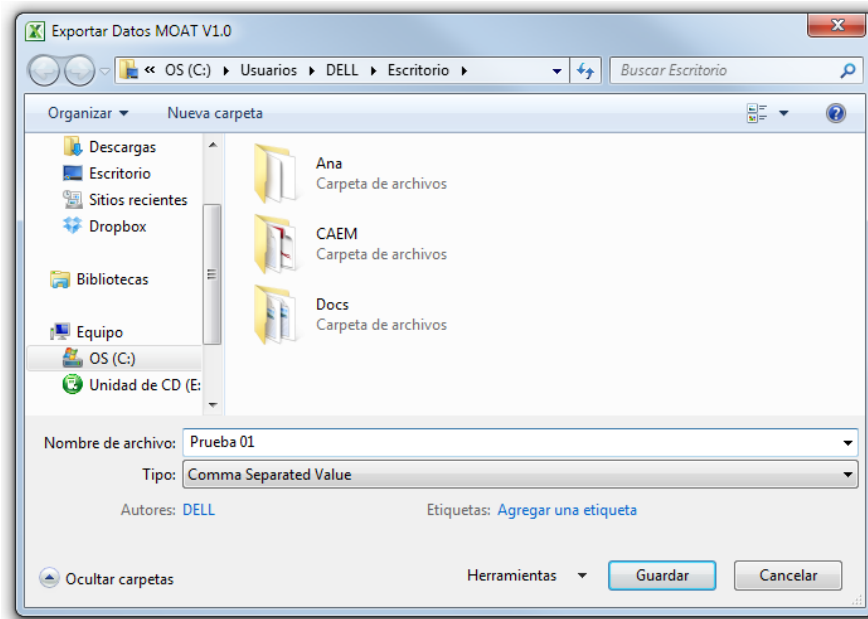
Licencia: muestra la ventana “Propiedad Intelectual”.

Ayuda: muestra el Manual del Usuario.

Exportar: permite exportar un archivo en formato .csv en el cual se almacenan todos los datos que el usuario haya ingresado con el fin de que no tenga que empezar de cero cada vez que ejecute la herramienta.

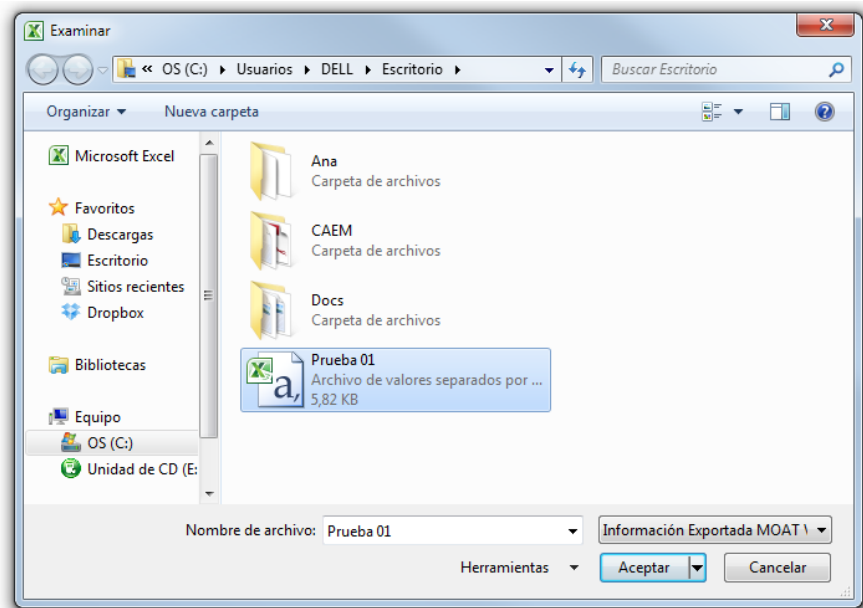
Importar: permite importar y/o cargar los archivos .csv que contengan los datos ingresados en oportunidades anteriores. Esta fue la metodología escogida con el fin de que solo exista un único archivo de la herramienta computacional y el resto sean archivos que el usuario exporte o guarde según su preferencia.

Figura 29. Ventana exportar datos



Fuente: El autor.

Figura 30. Ventana importar datos



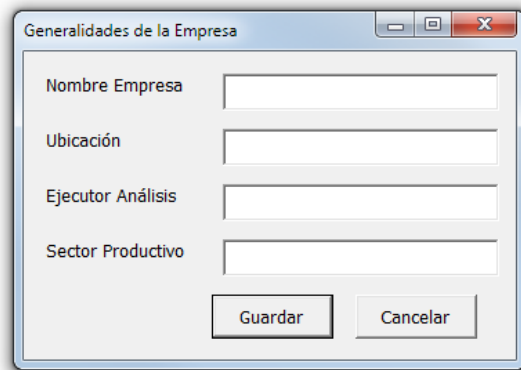
Fuente: El autor.

Salir: cierra la herramienta computacional, en este caso existe la posibilidad de que el usuario desee continuar trabajando en Excel®, es por eso que siempre se pregunta si desea salir también de Excel®.

5.4 MÓDULO INFORMACIÓN GENERAL

En este módulo se especifican los datos de la empresa, la estructura operacional de la misma o de las facilidades que se incluirán en el análisis.

Figura 31. Ventana Generalidades de la Empresa



Generalidades de la Empresa

Nombre Empresa

Ubicación

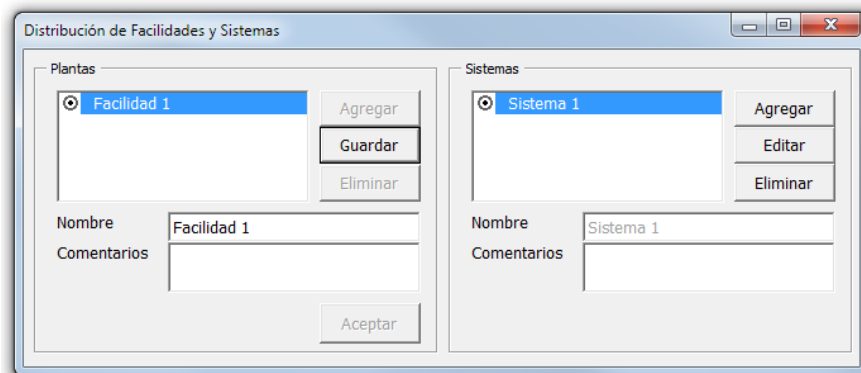
Ejecutor Análisis

Sector Productivo

Guardar Cancelar

Fuente: El autor.

Figura 32. Ventana Distribución de Facilidades y Sistemas



Distribución de Facilidades y Sistemas

Plantas

- Facilidad 1

Agregar

Guardar

Eliminar

Nombre: Facilidad 1

Comentarios:

Aceptar

Sistemas

- Sistema 1

Agregar

Editar

Eliminar

Nombre: Sistema 1

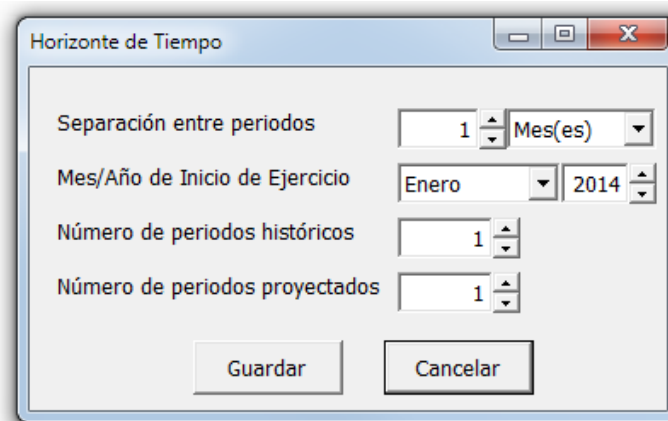
Comentarios:

Fuente: El autor.

5.5 MÓDULO DATOS DE ENTRADA DE COSTOS Y PERIODOS DE TIEMPO

Este es el módulo más complejo de la herramienta. Primero se debe especificar el horizonte de tiempo para el análisis: separación entre periodos, cuando se inicia el ejercicio, número de periodos históricos y número de periodos proyectados. La ventana para la definición del horizonte de tiempo fue diseñada de tal forma que fuera posible cubrir todos los escenarios probables.

Figura 33. Ventana Horizonte de Tiempo



The image shows a software dialog box titled "Horizonte de Tiempo". It contains the following fields and controls:

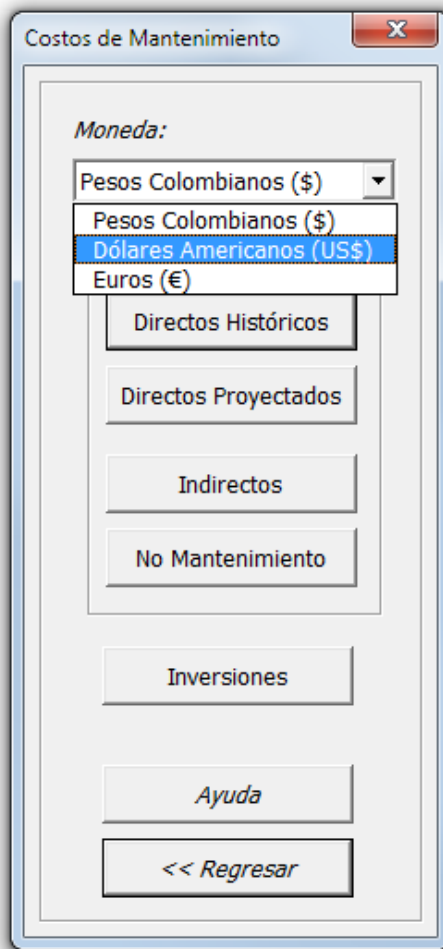
- Separación entre periodos:** A numeric input field with the value "1" and a dropdown menu set to "Mes(es)".
- Mes/Año de Inicio de Ejercicio:** A dropdown menu showing "Enero" and a year spinner set to "2014".
- Número de periodos históricos:** A numeric input field with the value "1".
- Número de periodos proyectados:** A numeric input field with the value "1".
- Buttons:** "Guardar" and "Cancelar" buttons are located at the bottom of the dialog.

Fuente: El autor.

En esta instancia el usuario debe definir las estructuras e ingresar todos los costos periodo a periodo.

Primero se especifica la moneda en que se ingresarán los valores, luego se van ingresando los costos según las preferencias del usuario. En todos los casos se debe presionar el botón de comando "Guardar" con el fin de que los datos sean almacenados y puedan ser visualizados posteriormente.

Figura 34. Ventana Costos de Mantenimiento

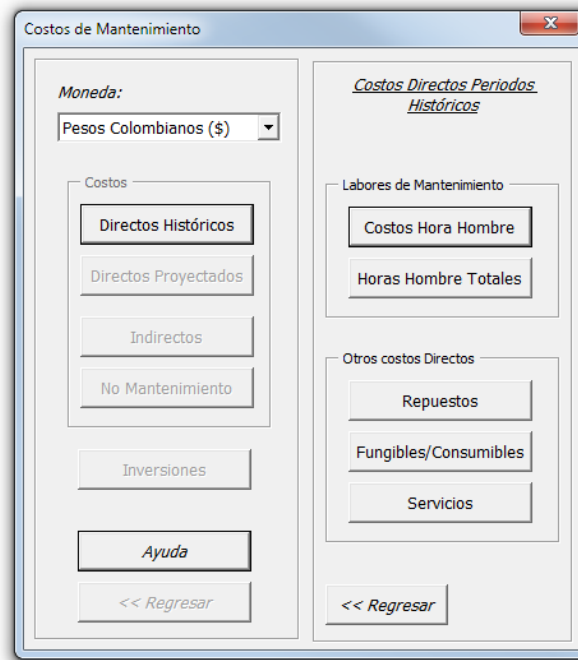


Fuente: El autor.

A medida que el usuario presiona cada uno de los botones de comando se despliegan las siguientes secciones para la inclusión de datos en la misma ventana. Esta metodología de diseño busca optimizar al máximo el número de formularios y lograr que el usuario pueda editar todos los datos de costos en una ventana unificada.

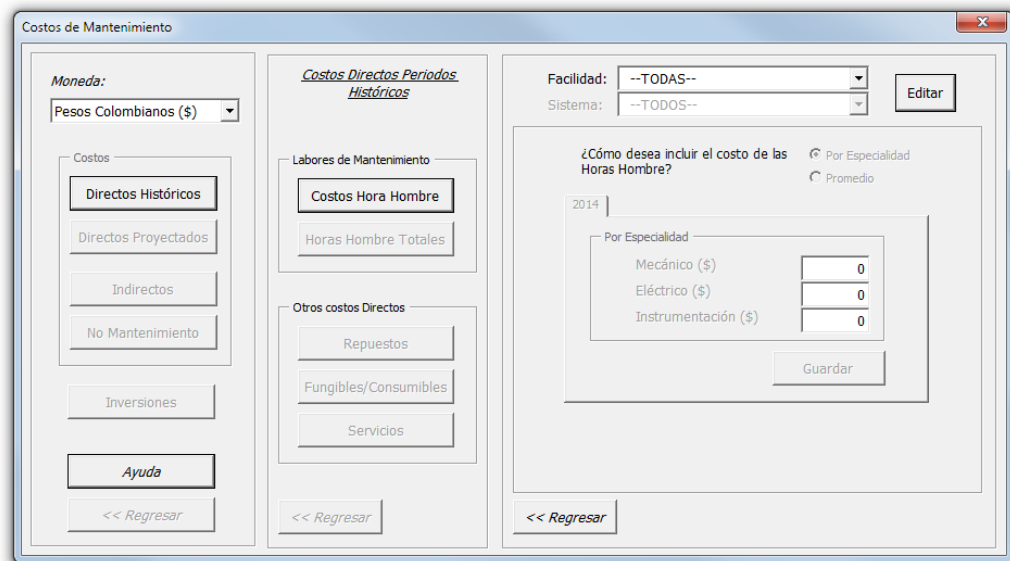
A continuación se muestran algunas de las secciones en detalle:

Figura 35. Ventana Costos Directos Periodos Históricos



Fuente: El autor.

Figura 36. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Costo Hora Hombre



Fuente: El autor.

Figura 37. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Horas Hombre Totales

Costos de Mantenimiento

Moneda: Pesos Colombianos (\$)

Costos: Directos Históricos, Directos Proyectados, Indirectos, No Mantenimiento, Inversiones, Ayuda, << Regresar

Costos Directos Periodos Históricos

Labores de Mantenimiento: Costos Hora Hombre, Horas Hombre Totales

Otros costos Directos: Repuestos, Fungibles/Consumibles, Servicios, << Regresar

Facilidad: [] Sistema: [] Editar

¿Cómo desea incluir la relación de las Horas Hombre Totales? Por Especialidad Totales

2014

Correctivo (Horas)	0
Mecánico (Horas)	0
Eléctrico (Horas)	0
Instrumentación (Horas)	0
Preventivo (Horas)	0
Mecánico (Horas)	0
Eléctrico (Horas)	0
Instrumentación (Horas)	0

<< Regresar

Fuente: El autor.

Figura 38. Ventana Costos Directos Periodos Proyectados

Costos de Mantenimiento

Moneda: Pesos Colombianos (\$)

Costos: Directos Históricos, Directos Proyectados, Indirectos, No Mantenimiento, Inversiones, Ayuda, << Regresar

Costos Directos Periodos Proyectados

Facilidad: [] Sistema: [] Editar

2015

Labores de Mantenimiento

Correctivo (M\$)	0
Preventivo (M\$)	0
Predictivo (M\$)	0

Repuestos

Correctivo (M\$)	0
Preventivo (M\$)	0

Fungibles/Consumibles (M\$) 0

Servicios (M\$) 0

Guardar

<< Regresar

Fuente: El autor.

Figura 39. Ventana Costos Indirectos

The screenshot shows a software window titled "Costos de Mantenimiento". On the left, there is a sidebar with a "Moneda:" dropdown set to "Pesos Colombianos (\$)". Below it are buttons for "Directos Históricos", "Directos Proyectados", "Indirectos" (which is highlighted), "No Mantenimiento", "Inversiones", "Ayuda", and "<< Regresar". The main area is titled "Costos Indirectos" and includes a "Facilidad:" dropdown and an "Editar" button. There are year selectors for "2014" and "2015". Below these are two tabs: "Costos de Personal" and "Otros Costos Indirectos". The "Otros Costos Indirectos" tab is active, showing a list of categories with checkboxes and input fields for values in "(M\$)": "Nivel Gerencia" (0), "Nivel Supervisión" (0), "Nivel Planeación" (0), and "Nivel Confiabilidad" (0). A "Guardar" button is below this list. At the bottom of the main area is an "Otros" section with a text input field and "Agregar", "Editar", and "Eliminar" buttons. A "<< Regresar" button is at the bottom left of the window.

Fuente: El autor.

Figura 40. Ventana Inversiones

The screenshot shows the same "Costos de Mantenimiento" window, but with the "Inversiones" tab selected in the main area. The sidebar on the left is identical, but the "Inversiones" button is highlighted. The main area has the same "Facilidad:" dropdown and "Editar" button. The year selectors are "2014" and "2015". The "Otros Costos Indirectos" tab is still active, but the list of categories is different: "Consultoría" (M\$) with value 0, "Proyectos" (M\$) with value 0, "Equipos: Compra/Cambio" (M\$) with value 0, and "Equipos: Modificación/Revamp" (M\$) with value 0. A "Guardar" button is below this list. The "Otros" section at the bottom has a "Descripción" input field and "Agregar", "Editar", and "Eliminar" buttons. A "<< Regresar" button is at the bottom left of the window.

Fuente: El autor.

5.6 MÓDULO INCLUSIÓN DE INDICADORES

En este módulo se ingresan los indicadores tanto al nivel de la (s) facilidad (es) como al nivel del (los) sistema (s).

Figura 41. Ventana Inclusión de Indicadores - Nivel Facilidades

The screenshot shows a software window titled "Indicadores de Mantenimiento". Inside the window, there is a sub-header "Indicadores de Mantenimiento". Below this, there are two dropdown menus: "Facilidad:" with "Facilidad 1" selected, and "Sistema:" which is empty. Each dropdown menu has an "Editar" button next to it. Below the dropdowns, there are two tabs: "2014" and "2015", with "2014" selected. The main area contains a list of indicators, each with a corresponding input field showing the value "0":

Disponibilidad (A) - Horas	0
Disponibilidad (A) - %	0
Confiabilidad (R) - %	0
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	0
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	0
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	0
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	0
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	0
Rendimiento de la producción - %	0
Factor de calidad - %	0
Eficiencia global de equipos (OEE) - %	0

At the bottom right of the indicator list is a "Guardar" button. At the bottom left of the window is a "<< Regresar" button.

Fuente: El autor.

Si el usuario ingresa la disponibilidad en horas, se calculará de forma automática el valor porcentual en función del número de horas totales del periodo o si ingresa la disponibilidad en porcentaje, se calculará el número de horas totales. El cálculo de la eficiencia global de equipos también es automático. Es exactamente igual para los sistemas (para los sistemas no se calcula la eficiencia global de equipos).

Figura 42. Ventana Inclusión de Indicadores - Nivel Sistemas

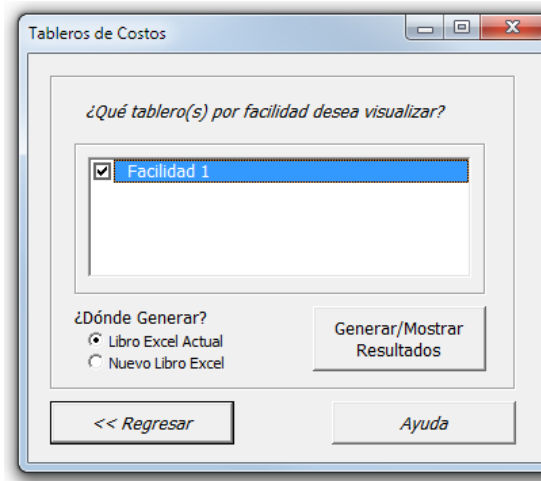
<u>Indicadores de Mantenimiento</u>	
Facilidad:	Facilidad 1
Sistema:	Sistema 1
2014 2015	
Disponibilidad (A) - Horas	0
Disponibilidad (A) - %	0
Confiabilidad (R) - %	0
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	0
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	0
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	0
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	0
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	0

Fuente: El autor.

5.7 MÓDULO HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN

En este módulo se incluyen todas las herramientas para el análisis y visualización gráfica de los datos ingresados por el usuario periodo a periodo. Debido a que la herramienta fue desarrollada como un complemento de Excel®, no es posible mostrar cada una de las gráficas en una hoja independiente sino que estas se van generando y acumulando en un libro. Los tableros de costos ilustran la situación que se repite en todos los casos, el usuario selecciona la gráfica a visualizar y si desea generarla en el libro actual o en un libro nuevo. En el primer caso se trata del archivo de Excel® en el que se ejecutó la herramienta o en el que se está trabajando y en el segundo se genera un nuevo archivo.

Figura 43. Ventana Tableros de Costos



Fuente: El autor.

Figura 44. Ejemplo visualización de un Tablero de Costos

MOAT® V1.0

- Menú Principal
- Tableros de Costos
- Flujos de Caja
- Análisis DuPont
- Gráficas
- Indicadores/Benchmarking

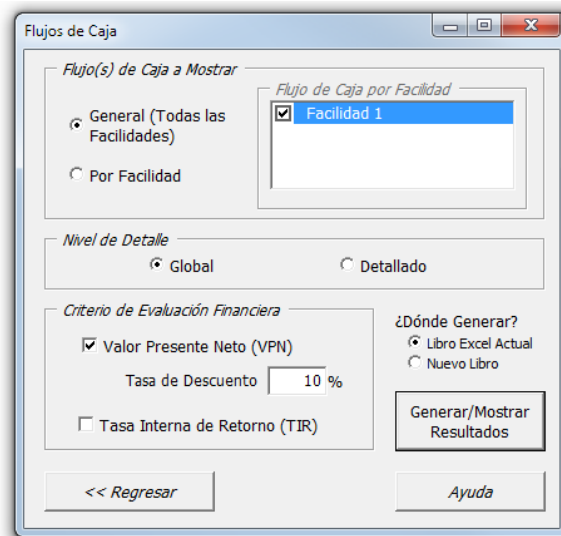
Ejecutor Análisis: XXX
Sector Productivo: XXX

Todas las cifras están en millones de Pesos Colombianos (\$)

	HISTÓRICOS	PROYECTADOS
	2014	2015
Facilidad 1		
Costos directos mantenimiento		
Labores HH	M\$ 0,00 0,00%	M\$ 0,00 0,00%
Repuestos	M\$ 0,00 0,00%	M\$ 0,00 0,00%
Materiales/Fungibles/Consumibles	M\$ 0,00 0,00%	M\$ 0,00 0,00%
Servicios	M\$ 0,00 0,00%	M\$ 0,00 0,00%
Total costos directos	M\$ 0,00	M\$ 0,00
Variación/Costos Directos	-	M\$ 0,00
Costos indirectos mantenimiento		
Costos administrativos/personal		
	M\$ 0,00 0,00%	M\$ 0,00 0,00%
Otros/Costos Indirectos		
	M\$ 0,00 0,00%	M\$ 0,00 0,00%
Total costos indirectos	M\$ 0,00	M\$ 0,00
Variación/Costos Indirectos	-	M\$ 0,00
Inversiones/Ingeniería		
Otros		
	M\$ 0,00 0,00%	M\$ 0,00 0,00%
Inversiones totales	M\$ 0,00	M\$ 0,00
Variación/Inversiones	-	M\$ 0,00

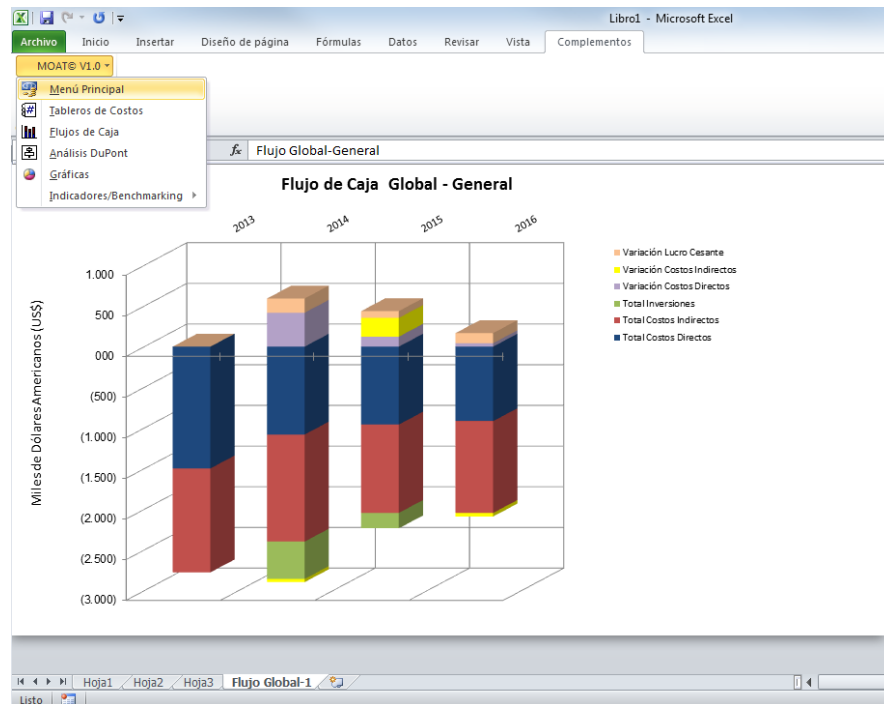
Fuente: El autor.

Figura 45. Ventana Flujos de Caja



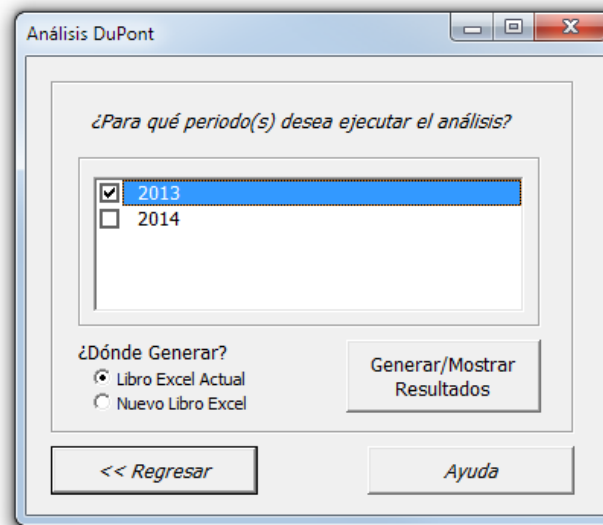
Fuente: El autor.

Figura 46. Ejemplo visualización de un Flujo de Caja



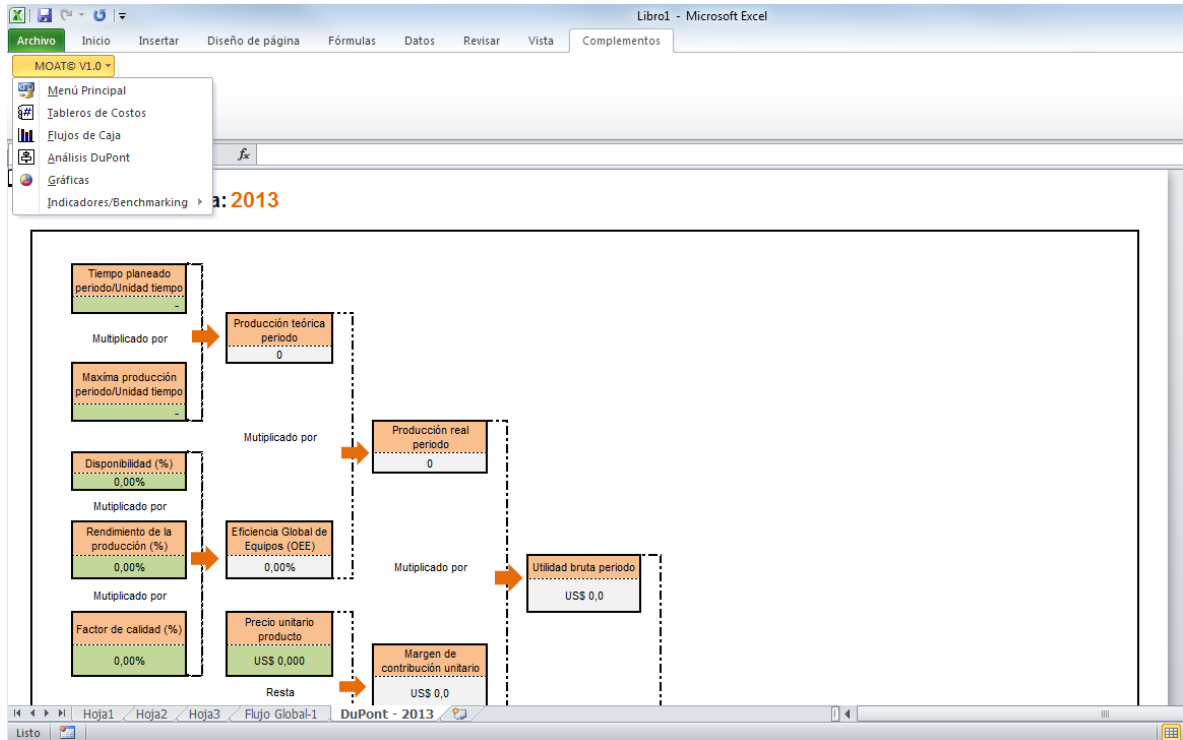
Fuente: El autor.

Figura 47. Ventana Análisis DuPont



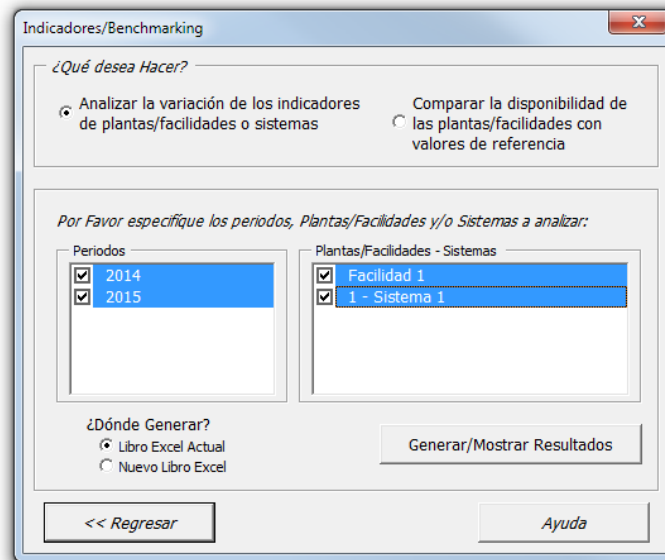
Fuente: El autor.

Figura 48. Ejemplo visualización del diagrama de Análisis DuPont



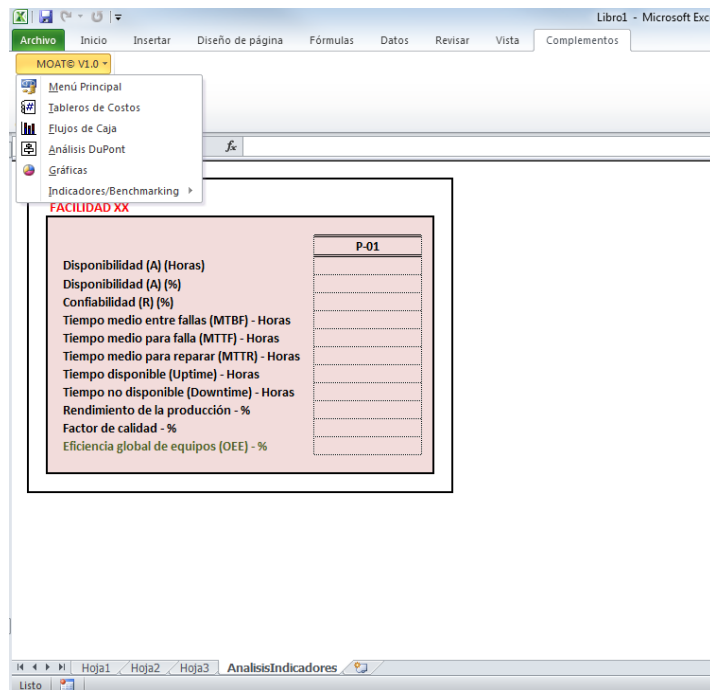
Fuente: El autor.

Figura 49. Ventana Indicadores/Benchmarking



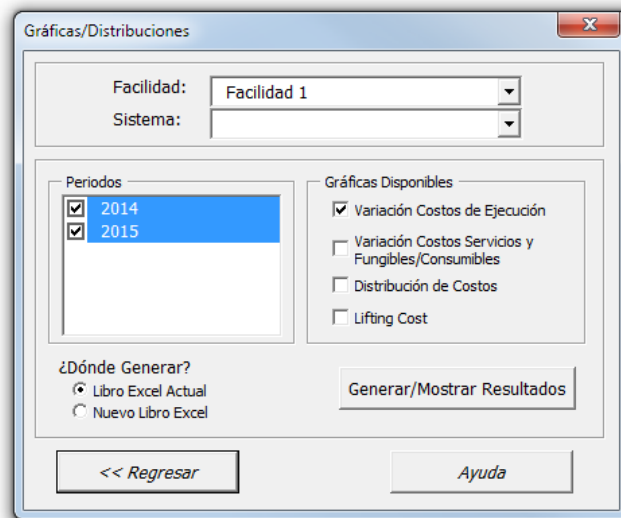
Fuente: El autor.

Figura 50. Ejemplo visualización Análisis de Indicadores



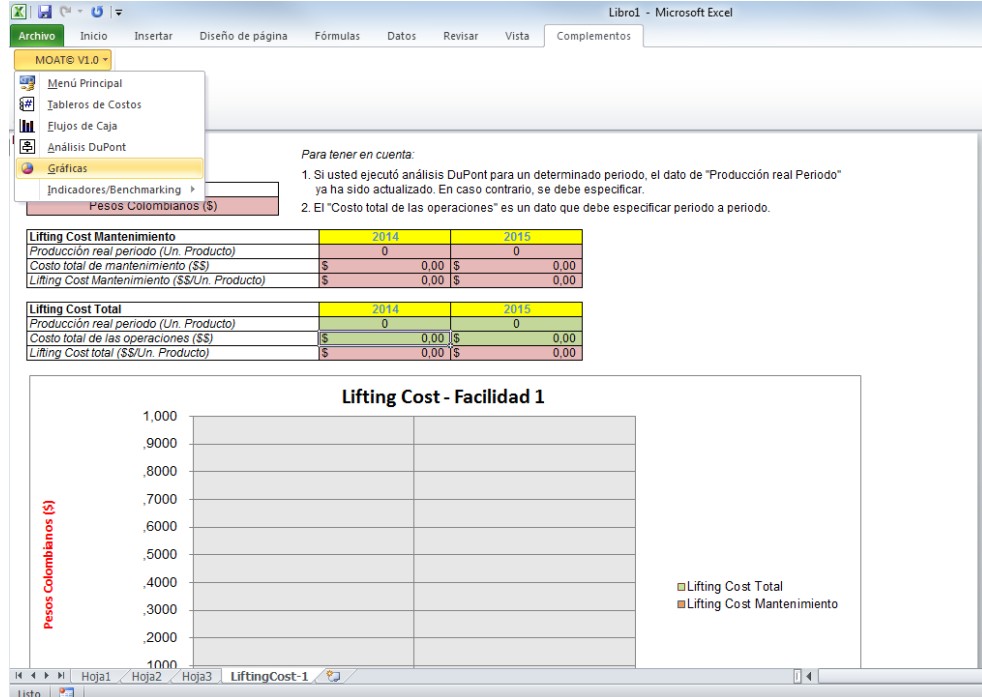
Fuente: El autor.

Figura 51. Ventana Gráficas/Distribuciones



Fuente: El autor.

Figura 52. Ejemplo visualización Gráfica Lifting Cost



Fuente: El autor.

6. PRUEBA DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL Y CASO DE ESTUDIO PILOTO

6.1 PRUEBAS EJECUTADAS A LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Las pruebas ejecutadas en este tipo de herramientas permiten verificar y revelar su calidad, así mismo permiten identificar fallas de implementación. A la herramienta se le realizaron dos tipos de pruebas:

6.1.1 Pruebas de validación

Proceso de revisión que permite determinar si la herramienta cumple a cabalidad con sus funciones. La validación es el proceso de comprobar que lo que se ha especificado es lo que el usuario realmente requería. Para esta prueba se comprobó que las salidas de la herramienta estuvieran completas, detalladas y claras.

6.1.2 Pruebas de integración

Se ejecutan después de las pruebas de validación. Se refieren a la prueba de todos y cada uno de los elementos unitarios que componen un proceso funcionando en conjunto. Para estas pruebas se comprobó que la información compartida entre módulos de la herramienta se almacenara y mostrara de forma correcta, un ejemplo de integración de los módulos se da cuando se especifica una nueva facilidad y que se generen los espacios para inclusión de datos de dicha facilidad y sus sistemas asociados, y que adicionalmente se generaran las herramientas de análisis y visualización teniendo en cuenta la (s) estructura (s) operacional (es), la separación entre periodos, el número de periodos, etc.

Muchas de las pruebas fueron ejecutadas en conjunto con el ingeniero programador durante el proceso de desarrollo de la herramienta (como se evidencia en las figuras mostradas en la sección anterior). Las pruebas iniciales se hicieron evaluando diversos escenarios y se complementaron con el estudio de caso piloto ejecutado en conjunto con los ingenieros de mantenimiento y confiabilidad de la empresa PetroTiger Services LTD., el cual se describe en la siguiente sección.

6.2 ESTUDIO RAM/RBD Y ANÁLISIS FINANCIERO PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN UN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE CRUDO PESADO

El contexto en el que se desarrolla este estudio es en el marco de prestación de servicios de mantenimiento integral a una operadora de campos petroleros top 10 (producción superior a 30.000 BOPD, barriles de crudo por día, por sus siglas en inglés) en Colombia por parte de PetroTiger Services LTD. Esta operadora tiene 5 campos, del cual el principal denominado “Facilidad 1” fue objeto del estudio en mención. Los pozos (alrededor de 8) de esta facilidad sólo producen crudo con muy bajo o nada de gas asociado y los correspondientes fluidos tratables en un proceso de crudo pesado (Crudo API 11).

6.2.1 Objetivo del estudio

En general, el objetivo principal de PetroTiger con el cliente es aumentar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos o activos bajo su responsabilidad y disminuir los costos de mantenimiento existentes en los distintos sistemas.

Los objetivos específicos son:

- ✓ Definir con base en el modelo de Montecarlo el cálculo real de la Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad (RAM) del sistema de producción de la facilidad 1. Este estudio contiene los datos estadísticos y eventos de paradas de equipos o activos originados ya sean por mantenimiento preventivos, correctivos y operacionales. El periodo de muestra de los eventos de paradas correspondiente a los causados en el año 2013.
- ✓ Este análisis también contempla una estimación de los costos que se incurrirán en mano de obra, repuestos y pérdidas de producción (o lucro cesante) basados en una proyección estadística bajo ciertas circunstancias de optimización y mejora sobre la gestión de mantenimiento. Este segundo objetivo específico se apoya en una herramienta de medición de valor financiero llamada MOAT© adaptada a las condiciones del estudio.
- ✓ El estudio no pretende describir las actividades que comprende la implementación de un plan estratégico corporativo de optimización de mantenimiento y que redundan en las mejoras estimadas en el estudio. Estas prácticas de gestión se profundizan en otro tipo de estudio.

6.2.2 Marco teórico

6.2.2.1 Fundamentos teóricos del análisis de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad (RAM)

Uno de los propósitos del análisis confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) es identificar las debilidades en los sistemas de una facilidad (y esquemáticamente de lo que estructuralmente componga dichos sistemas) y

cuantificar el impacto de sus fallas. El desempeño de los equipos o activos es efecto de la confiabilidad y disponibilidad de los mismos y depende del medio y contexto donde operan, la eficacia de su mantenimiento, su estrategia de operación, la experticia técnica o competencia de sus operadores, entre otros. Dicho estudio permite entonces pronosticar la producción perdida y la indisponibilidad de un proceso de producción, de acuerdo a su configuración, a la confiabilidad de sus componentes y en esa misma medida al efecto de las debilidades mencionadas anteriormente.

El análisis se sustenta en un modelo de simulación que toma en cuenta:

- ✓ Las fallas aleatorias y sus reparaciones y por ende la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos o activos.
- ✓ La configuración del sistema.
- ✓ Las pérdidas de capacidad por degradación.
- ✓ El tiempo fuera de servicio por mantenimiento planificado.
- ✓ Disponibilidad de recursos humanos y materiales.
- ✓ La probabilidad de ocurrencia de eventos especiales no deseados.

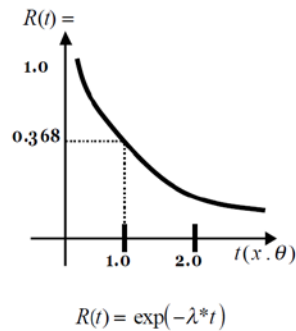
La base fundamental de este análisis es la “construcción” de los tiempos medios entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) y tiempos medios para reparar (MTTR, por sus siglas en inglés) para los diversos componentes, con base en información proveniente de bases de datos propias de la facilidad 1, bancos de datos genéricos de la industria y opinión de expertos, miembros del equipo de ingeniería de confiabilidad de PetroTiger Services LTD.

6.2.2.2 Distribución exponencial

La distribución exponencial es ampliamente usada en análisis de confiabilidad, como distribución de la variable aleatoria “tiempo medio entre fallas” de equipos o sistemas. Describe la cantidad de tiempo que transcurre entre eventos.

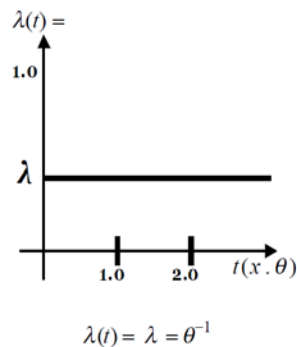
El parámetro de la distribución exponencial es Lamda (λ). La característica fundamental de las variables que siguen la distribución exponencial es que el número de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo es aproximadamente constante.

Figura 53. Función de confiabilidad



Fuente: El autor.

Figura 54. Función tasa de falla



Fuente: El autor.

6.2.2.3 Simulación de Monte Carlo

El modelo de simulación de Monte Carlo es una herramienta de análisis de la incertidumbre asociada a cada una de las variables de entrada que proporciona una solución numérica donde las variables y algunos de los parámetros vienen dados por distribuciones probabilísticas. Esta simulación es un método que cuantifica la incertidumbre asociada a las variables de entrada y parámetros del modelo (incertidumbre total) y la propaga a las variables de salida mediante algoritmos numéricos.

La simulación comprende básicamente tres fases, la primera de ellas donde se cuantifica y caracteriza probabilísticamente cada una de las variables de entrada; la segunda corresponde a la simulación propiamente dicha, donde se propaga la incertidumbre de las variables de entrada a través del modelo; y la tercera y última fase donde se cuantifica y se realiza la caracterización probabilística de la variable de salida.

Esta técnica de simulación usa números al azar para generar datos de fallas y costos considerando las distribuciones probabilística y modelos matemáticos.

6.2.2.4 Medición financiera de optimizaciones de costos de mantenimiento

El modelo financiero para la medición de las ganancias económicas directas e indirectas sobre la optimización de la gestión de mantenimiento utiliza las herramientas clásicas de factibilidad y medición financiera de la gestión de proyectos. Sobre la planificación de ciertas actividades que se implementan en el tiempo, se espera un retorno económico en el tiempo al que se le descuentan costos directos e indirectos propios de la actividad y que tendrían bajo la premisa de ser sujetos de optimización un beneficio para la organización.

Este beneficio puede considerarse un ahorro que no precisamente se consigue con la simple disminución de costos directos de la ejecución de mantenimiento, sino que también incluye por definición conceptual ingresos relacionados a mayor productividad de la organización y que pueden atribuirse a una mejor gestión de mantenimiento. Esto último logrado también a través de inversiones en gestión, tecnología o nuevos activos que persigan el objetivo común de mayor producción con los mismos o menos recursos.

La medición financiera se hace entonces a través de una herramienta denominada MOAT© la cual lleva a unos flujos futuros probables los costos derivados de la gestión de mantenimiento y sus ganancias, basados en la premisa comparativa periodo a periodo, y otras discutibles, de que “todo es mejorable en un sistema bajo ciertas suposiciones”. De este flujo se capturan indicadores financieros comunes en la evaluación de proyectos: VPN (Valor Presente Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) con el complemento de variables que tienen que ver también con la gestión operativa, datos reales de producción y valor de mercado del producto.

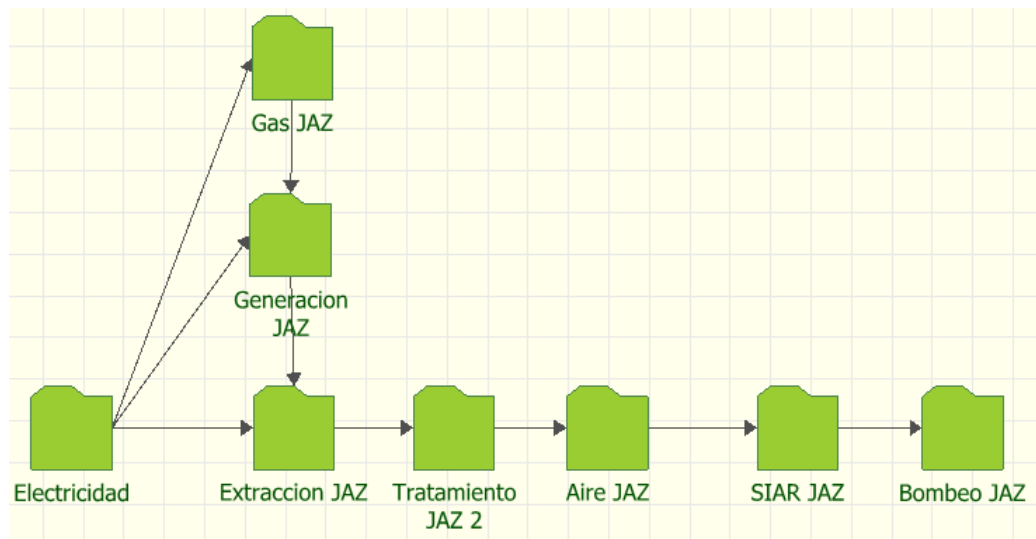
6.2.3 Descripción de los procesos de la facilidad objeto de estudio

El campo de la facilidad 1 cuenta con una producción diaria en promedio de 6963 BOPD (barriles de crudo por día, por sus siglas en inglés) con un precio promedio de US\$ 56,26 dólares por barril. Los procesos importantes de este campo están referenciados en el diagrama de procesos que se muestra a continuación y son:

- ✓ Electricidad (red de distribución)
- ✓ Compresión de gas
- ✓ Generación de vapor
- ✓ Extracción de crudo
- ✓ Tratamiento de crudo

- ✓ Aire
- ✓ Sistema de inyección de aguas residuales - SIAR
- ✓ Bombeo de crudo

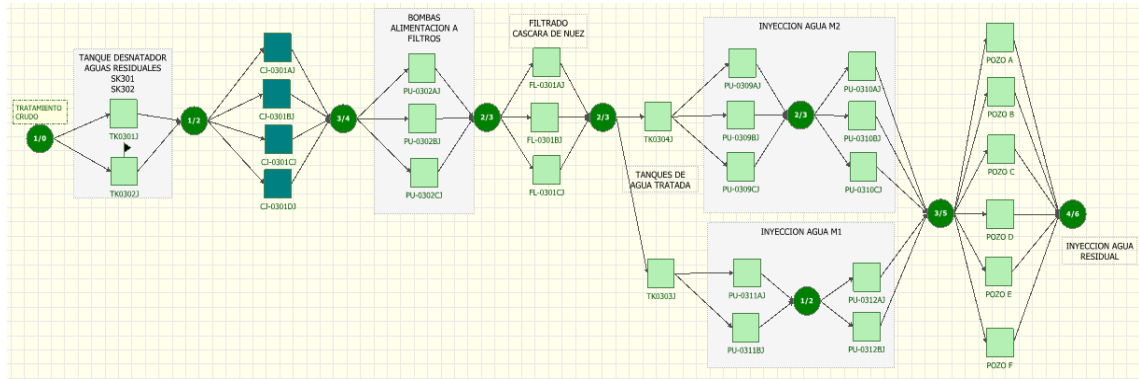
Figura 55. Procesos productivos en la facilidad 1 (campo de producción de crudo pesado)



Fuente: El autor.

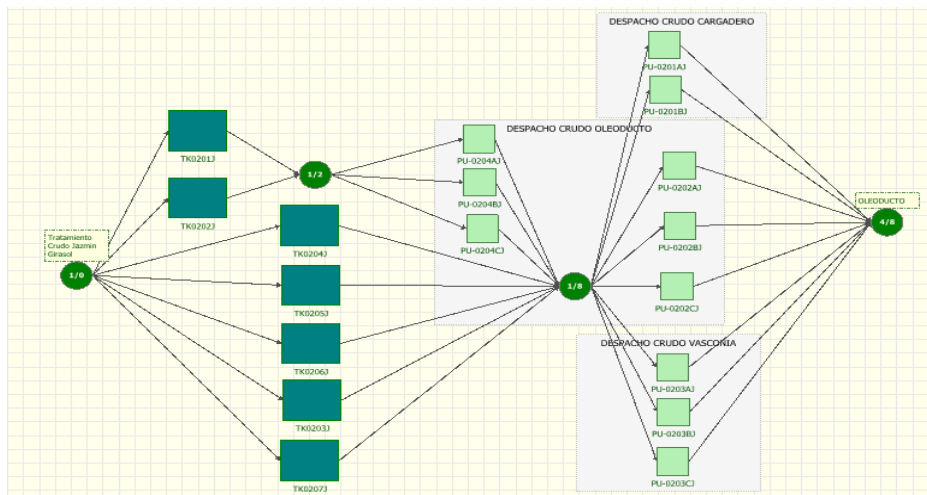
A continuación se muestra la configuración de bloques de algunos sistemas como referencia para el estudio. La totalidad de los sistemas tuvo que ser configurada según su disposición para poder ejecutar los estudios confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM).

Figura 56. Diagrama de bloques sistema de inyección de aguas residuales - SIAR



Fuente: El autor.

Figura 57. Diagrama de bloques sistema bombeo de crudo



Fuente: El autor.

6.2.4 Análisis estadístico de los sistemas de la facilidad 1

El estudio inició con la toma de data y observación de todos los eventos de paradas de equipos en los sistemas en mención desde las bases de datos disponibles (Software de mantenimiento Infor EAM) sin discriminar por el componente que causó la falla, con una muestra causada por los eventos en un espacio de un año - 2013.

Para los estudios de tiempos disponibles (up-times) se involucran variables como:

- ✓ Tiempo medio entre fallas operando entre dos fallas sucesivas.
- ✓ Tiempo de operación hasta mantenimiento planificado: definido como el que transcurre desde el arranque hasta el mantenimiento planificado.

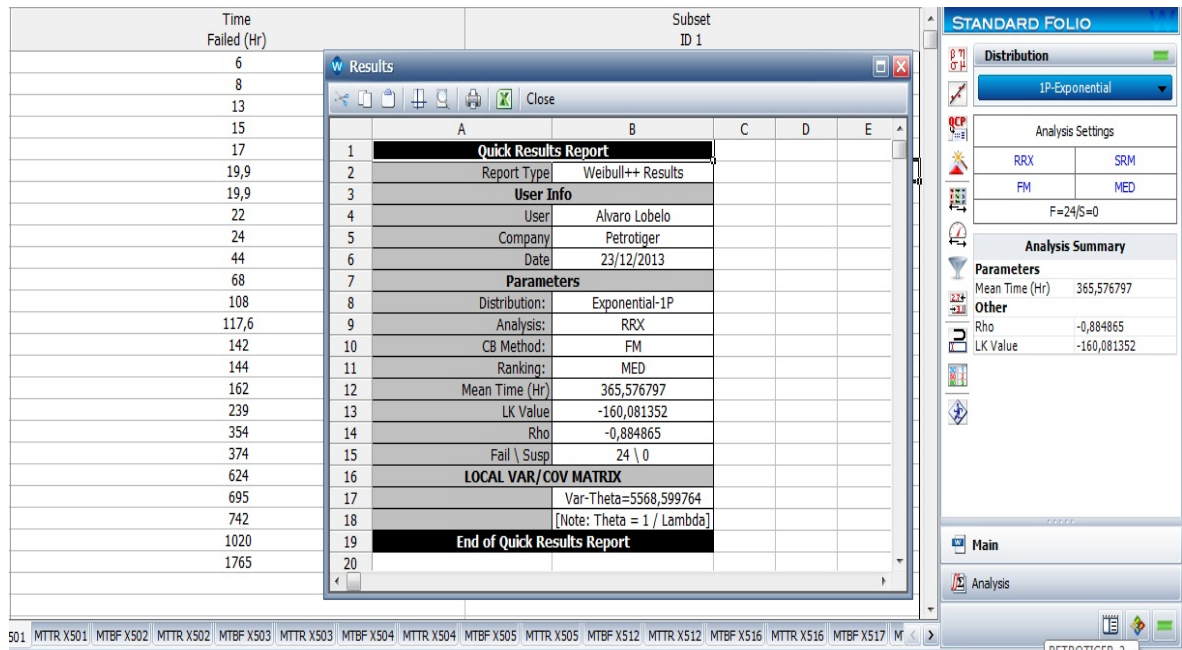
Para los estudios de tiempos no disponibles (down-times) se involucran variables como:

- ✓ Tiempo medio para reparar: definido como el tiempo que transcurre desde que el equipo es desactivado para hacerle mantenimiento; hasta que es puesto en operación.
- ✓ Tiempo para reparar: es el tiempo que transcurre desde que ocurre la falla hasta que el equipo es puesto en operación después de su reparación.

Para cada equipo se calculó MTBF, λ , MTTR, usando la distribución exponencial, y se pudo lograr el cálculo con base a los eventos de paradas que registraron los equipos durante el periodo en que se tomó la muestra.

Para aquellos equipos en los cuales no se registró ningún evento de falla en el tiempo de estudio, se asumió un MTBF igual a 8760 Horas. Para aquellos equipos que no registraron eventos de fallas se decidió utilizar el libro Offshore Reliability Data Handbook OREDA 4th Edition 2002 para calcular los tiempos medios. Este análisis se hizo utilizando el Software BlockSIM® de la casa Reliasoft® como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 58. Ilustración del Software BlockSIM® para cálculo de MTBF y MTTR



Fuente: El autor.

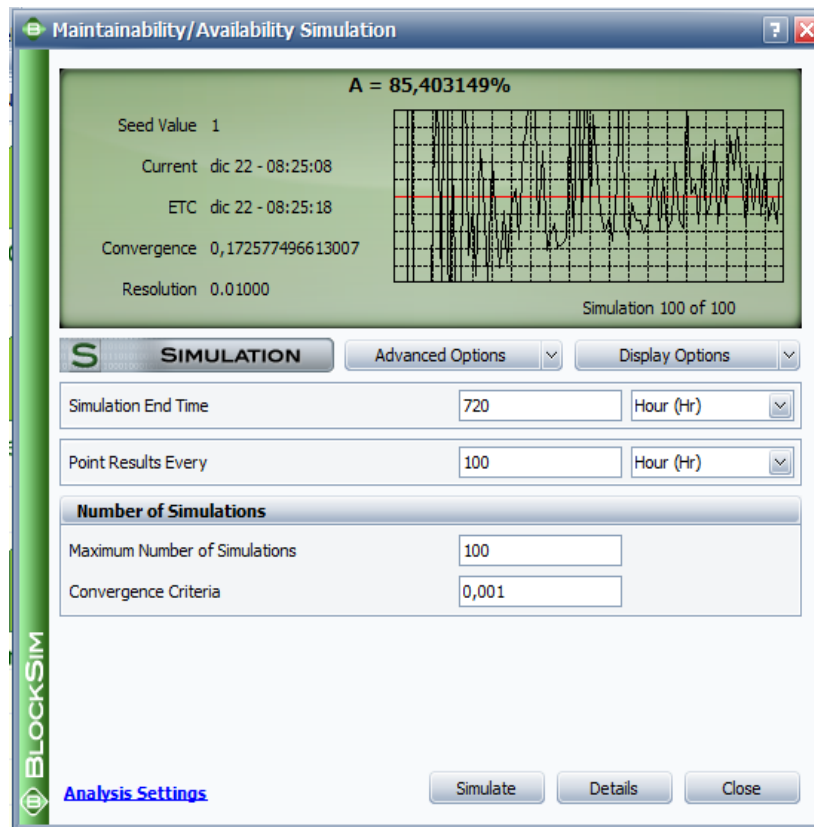
En el anexo E se muestra un ejemplo de la información registrada en cada bloque.

6.2.5 Análisis RAM según el modelo Monte Carlo de los sistemas de la facilidad 1

Se procedió a configurar los diagramas de bloques en el software y se realizó un levantamiento en campo con personal de operaciones de la facilidad y del cliente según la forma en que interactuaban todos los diagramas o equipos entre sí.

Una vez que se introdujeron todos los datos estadísticos y de costos a cada bloque se procedió a hacer la simulación del modelo con el software, para un periodo de 720 Horas (prueba de variables en un periodo inicial mensual), un número máximo de 100 simulaciones, y un criterio de convergencia de 0,001.

Figura 59. Simulación de disponibilidad del sistema SIAR

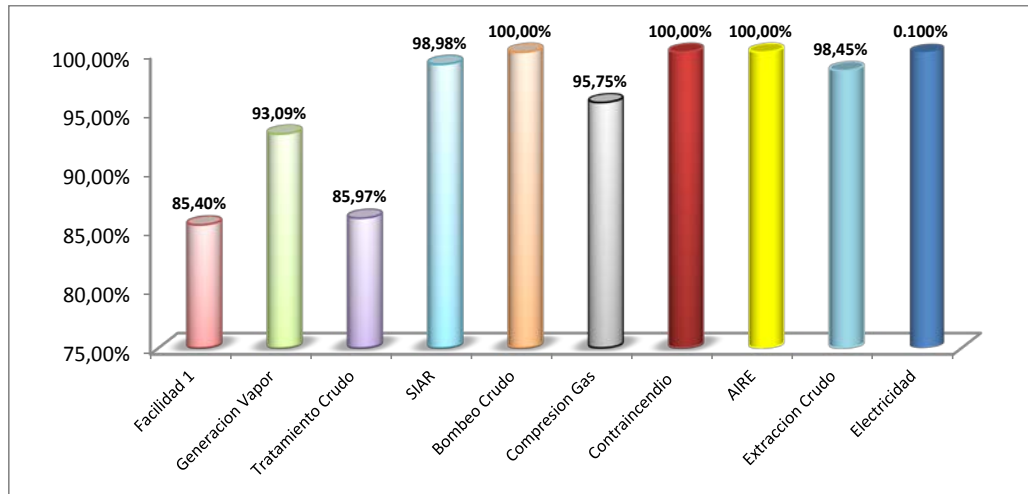


Fuente: El autor.

Los procesos que tuvieron un desempeño bajo en la disponibilidad son tratamiento de crudo, generación de vapor, y compresión de gas, teniendo en cuenta que la disponibilidad para otras industrias del mismo sector es > 97% Según la SMRP.

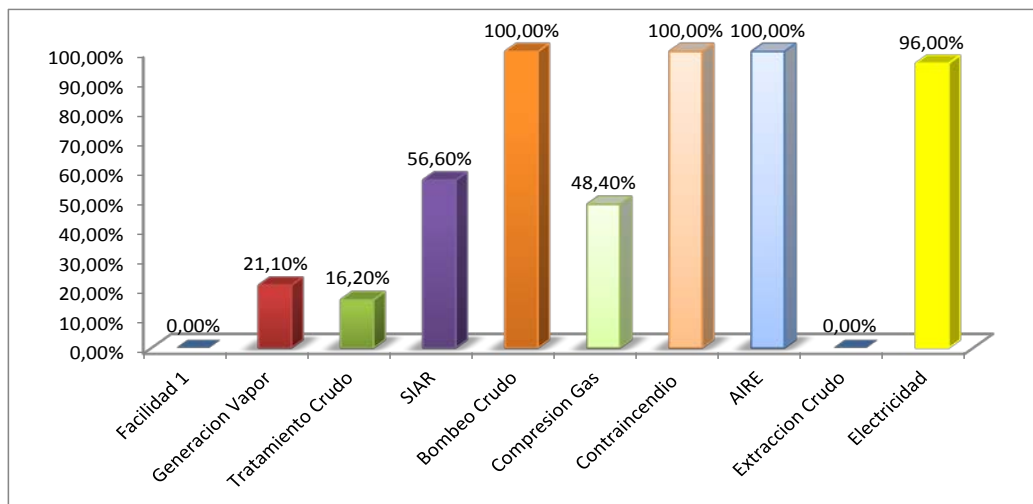
A continuación se muestran primero, los cálculos prueba de la disponibilidad y la confiabilidad mensual para los sistemas de la facilidad 1, luego una tabla en la que se resumen los resultados del modelamiento RAM/RBD de todos los procesos de la facilidad 1 en la prueba inicial de base mensual que se hizo (costos en USD\$).

Figura 60. Cálculo prueba de la disponibilidad mensual para los sistemas de la facilidad 1



Fuente: El autor.

Figura 61. Cálculo prueba de la confiabilidad mensual para los sistemas de la facilidad 1



Fuente: El autor.

Tabla 10. Resumen análisis mensual de la facilidad 1

Facilidad 1	
DISPONIBILIDAD	85,40%
Std Deviation (Mean Availability):	1,40%
Mean Availability (w/o PM, OC & Inspection):	85,40%
Point Availability (All Events) at 720:	69,00%
Reliability (720):	0,00%
Expected Number of Failures:	8,45
Std Deviation (Number of Failures):	176,60%
MTTFF (Hr):	324,34
System Uptime/Downtime	
Uptime (Hr):	614,9
CM Downtime (Hr):	104,57
Inspection Downtime (Hr):	0
PM Downtime (Hr):	0
OC Downtime (Hr):	0
Total Downtime (Hr):	105,1
MTTR (Hr):	12,37
Number of Failures:	8,45
Number of CMs:	8,44
Number of Inspections:	0
Number of PMs:	0
Number of OCs:	0
Number of OFF Events by Trigger:	0
Total Events:	8,45
Costs	
Total Costs:	\$ 101.368,90
Operativo Costs:	\$ 28.071,00
Costs for Parts (CM):	\$ 52.819,50
Costs for Crews (CM):	\$ 20.478,40

Fuente: El autor.

6.2.6 Estimación de los costos directos proyectados de mantenimiento

Una vez identificados los sistemas considerados “debilidad” en la facilidad 1 con la prueba de base mensual, se procedió a preparar la estimación de los costos directos de mantenimiento proyectados para los siguientes 3 años: 2014, 2015 y 2016 asumiendo que los equipos o activos no sufrirán modificación a excepción de las proyecciones de producción que dependen directamente de los pozos. El propósito de tomar 3 años de proyección es hacer coincidir este horizonte de tiempo con el estimado que hizo PetroTiger al cliente para conseguir reducciones tangibles y mejoras de productividad desde la ejecución de mantenimiento implementando el **Plan Corporativo de Estrategia de Mantenimiento** propuesto con las mejores prácticas de la gestión de activos.

Esto ayudará tanto a PetroTiger como al cliente en el manejo de los recursos y planes necesarios para llegar a las metas económicas propuestas y mejorar el costo del levantamiento del barril (conocido en el sector Petróleo & Gas como Lifting Cost) de la Facilidad 1. Se esperaba que la tendencia en términos de costos de mantenimiento e indicadores de desempeño en los sistemas débiles se mantuviera o empeorará en caso de seguir con las mismas actividades de mantenimiento en su mayoría correctivas. Las tablas de datos para ingreso al software BlockSIM® de los distintos sistemas se modificaron de tal forma que incluyeran nuevas actividades de mantenimiento preventivo y predictivo definidas durante varios meses en talleres **RCM (Reliability Centered Maintenance)** dirigidos por el líder de confiabilidad del equipo de PetroTiger y en los cuales participó personal operativo y de gestión del cliente.

El software combina la data de nuevas frecuencias, tiempos y costos de reparación con la incertidumbre probable de fallas no planeadas para recalcular los indicadores de desempeño (disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad) y la

estimación de costos de mantenimiento correctivo tanto en horas hombre, repuestos y otros servicios.

Para las proyecciones de los siguientes años se definieron criterios de mejora también haciendo inversiones en mejoramiento de los activos (Confiabilidad y Mantenibilidad) evaluando su modificación o la posibilidad de reemplazos de equipos o activos y definiendo nuevos planes de mantenimiento que a la luz de los RCM facilitados pudieran garantizar mejor disponibilidad y confiabilidad, controlando riesgos y disminuyendo el costo de los repuestos y las diferidas asociadas (lucro cesante) que fue lo que se descubrió tenía mayor impacto en el costo total directo de mantenimiento de toda la Facilidad 1.

A pesar de que la disponibilidad y confiabilidad se consideró débil en los sistemas tratamiento de crudo, generación de vapor y compresión de gas en el análisis mensual; se descubrió durante la proyección del primer año que los que generaban mayores costos de repuestos por fallas no planeadas y producción diferida (lucro cesante) eran en su orden el **sistema de extracción de crudo**; el cual básicamente está compuesto por máquinas de levantamiento artificial clásicas (Machines) de origen oriental y el **sistema eléctrico**, cuya infraestructura está conectada al sistema de interconexión nacional SIN y sujeto a la confiabilidad del mismo. Esto se muestra en la tabla 11 (costos en USD\$).

En este orden de ideas por lo crítico de estos sistemas para el proceso y la configuración de la facilidad, la reducción de repuestos para el caso de **extracción de crudo** y el evitar modos de fallas asociadas a los eventos Black Outs del **sistema eléctrico** se convertían automáticamente en el caballo de batalla de los dos siguientes años para llegar a las metas económicas planteadas sin descuidar los sistemas ya antes mencionados y otros que presentaban problemas por condiciones operacionales como el sistema de inyección de aguas residuales - SIAR para el campo de la Facilidad 1.

Tabla 11. Resumen análisis anual de los sistemas extracción de crudo y electricidad de la facilidad 1

	Extracción de Crudo	Electricidad
DISPONIBILIDAD	99,68%	96,25%
Std Deviation (Mean Availability):	0,00%	0,80%
Mean Availability (w/o PM, OC & Inspection):	99,95%	96,20%
Point Availability (All Events) at 720:	100,00%	89,70%
Reliability(720):	0,00%	59,40%
Expected Number of Failures:	35,78	7,304
Std Deviation (Number of Failures):	117,09%	103,60%
MTTFF (Hr):	779,5	17.215,30
System Uptime/Downtime		
Uptime (Hr):	8.731,80	8.431,50
CM Downtime (Hr):	4,2	1,7
Inspection Downtime (Hr):	0	0
PM Downtime (Hr):	24	0
OC Downtime (Hr):	0	0
Total Downtime (Hr):	28,19316	328,5
System Downing Events		
Number of Failures:	35,78	7,304
Number of CMs:	35,78	7,201
Number of Inspections:	0	0
Number of PMs:	3	0
Number of OCs:	0	0
Number of OFF Events by Trigger:	0	0
Total Events:	38,78	7,304
Costs		
Total Costs:	\$ 1.087.142,80	\$ 378.322,00
Corrective Operativo Costs:	\$ 233.375,50	\$ 378.150,30
Corrective Costs for Parts (CM):	\$ 350.265,00	\$ -
Corrective Costs for Crews (CM):	\$ 52.847,70	\$ 171,70
Preventive Operativo Costs:	\$ 367.446,50	\$ -
Preventive Costs for Parts (CM):	\$ -	\$ -
Preventive Costs for Crews (CM):	\$ 83.208,00	\$ -
Inspection Costs for Crews (CM):	\$ -	\$ -

Fuente: El autor.

Finalmente se analizan diversos escenarios sobre la proyección de costos directos de mantenimiento para la facilidad 1; algunos más optimistas y realistas que otros, y se introducen en la herramienta denominada MOAT©. El flujo de caja muestra que efectivamente existe oportunidad de reducción de los costos directos de mantenimiento durante los próximos 3 años a partir de 2013 y que representan un ahorro considerable en términos de recurso directo (costo de horas hombre), repuestos y mayor productividad de la facilidad a partir de la reducción las diferidas de producción (lucro cesante). Las tablas 12 y 13 muestran el resumen de las proyecciones, y la figura 62 muestra gráficamente la tendencia de dicho flujo de efectivo.

Tabla 12. Resumen proyección de flujos de efectivo calculados con la herramienta computacional MOAT©

	HISTÓRICOS	PROYECTADOS		
	2013	2014	2015	2016
Variación costos directos	-	US\$ 416.651	US\$ 122.713	US\$ 42.120
Variación costos indirectos	-	(US\$ 38.335)	US\$ 230.576	(US\$ 43.424)
Variación lucro cesante	-	US\$ 174.697	US\$ 83.552	US\$ 123.712
Ingresos	-	US\$ 553.013	US\$ 436.841	US\$ 122.407
Egresos	-	(US\$ 460.000)	(US\$ 190.000)	US\$ 0

Fuente: El autor.

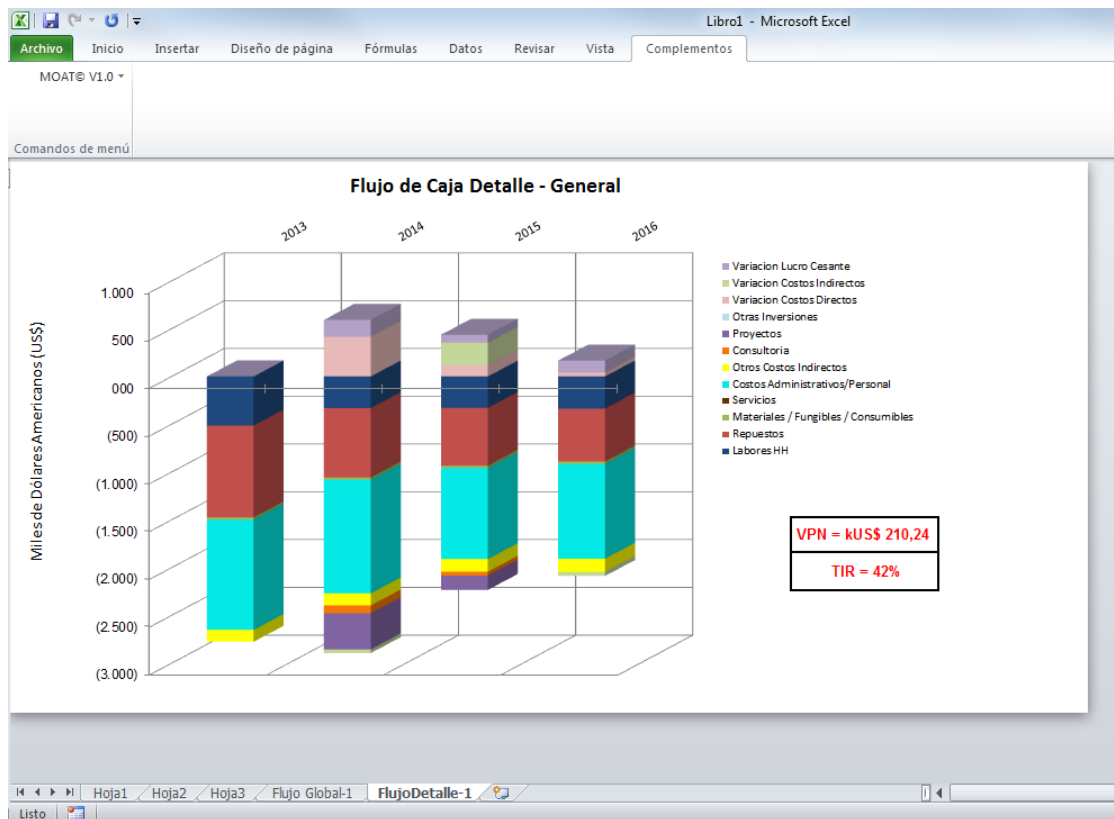
En la tabla 12, los valores entre paréntesis se refieren a flujos de efectivo negativos. Los resultados se incluyeron en el informe presentado al cliente resumidos como se muestra a continuación:

Tabla 13. Resumen indicadores financieros

Tasa de descuento	15%
Egresos	(US\$ 650.000)
Ingresos 2014	US\$ 553.013
Ingresos 2015	US\$ 436.841
Ingresos 2016	(US\$ 122.407)
VPN	US\$ 210.239
TIR	42%

Fuente: El autor.

Figura 62. Gráfica del flujo de caja en la herramienta computacional MOAT© para los años 2013, 2014, 2015 y 2016 (cifras en miles de dólares americanos)



Fuente: El autor.

6.2.7 Conclusiones del caso de estudio piloto

El Modelamiento RAM/RBD es una herramienta más eficaz y de un mejor criterio de ingeniería que la forma tradicional utilizada para calcular los indicadores de mantenimiento. PetroTiger pudo demostrar al cliente que los indicadores de disponibilidad y confiabilidad generales de la Facilidad 1 eran ampliamente afectados por la disposición de los distintos sistemas.

En términos de disponibilidad, el proceso que más impacta la disponibilidad de la facilidad 1 es tratamiento de crudo, donde los tiempos de mantenimiento mayor fueron los que aportaron más paradas que los planteados para su ejecución. La investigación basada en la data incluida en la base de datos mostró varias causas de planificación como por ejemplo:

- ✓ EHT-106A: las placas electrostáticas no se encontraban en bodega y parte de sus piezas fueron reutilizadas.
- ✓ EHT-104: debido a la falta de mantenimiento mayor periódico el daño presente en las bridas de los tubos de fuego aumento el tiempo de parada, se hizo necesario realizar un trabajo adicional con personal externo.
- ✓ FWKO-101 y 102 : los cuales se realizaron con un pequeño aumento en los tiempos estipulados debido a un plan de ejecución donde se incluyen las pruebas de integridad para estos equipos y las mejoras en los tableros control.

En orden de eventos de parada el segundo proceso que impacto directamente la disponibilidad del campo fue generación de vapor. Al consultar las bases de datos se encontró que esto sucedía por problemas presentados por tiempos superiores de ejecución en los mantenimientos mayores por inclusión de actividades de mejora: X-502 (mejora del sistema de control), X-503 (verificación de refractarios).

Otro proceso que afecto la disponibilidad es el sistema de compresión de gas, específicamente las unidades de recuperación de gas (VRU), las cuales presentaron un daño mayor en los compresores. Sin embargo, como se evidenció en el análisis, existen otros tres procesos que son susceptibles de optimización de acuerdo a los siguientes criterios:

- ✓ El sistema Eléctrico presenta un enorme impacto en costos de diferidas (lucro cesante) asociados a modos de falla en los equipos de los distintos sistemas con causa raíz común por Black Out. Estabilizar la confiabilidad de este sistema impacta enormemente la disminución del lucro cesante. Es por esto que en el flujo la ganancia proyectada de disminución del año 2013 a 2014 es enorme y es lo que más aportaría al flujo de efectivo en términos de ahorros futuros.
- ✓ El sistema de extracción de crudo concentra toda la labor y repuestos de mantenimiento preventivo de la facilidad 1, lo que convierte en correctiva la estrategia de ejecución de mantenimiento para los sistemas restantes. Se recomienda optimizar las labores de mantenimiento preventivo y evaluar proyectos que disminuyan el tiempo planeado de parada para este tipo de labores.
- ✓ A pesar de que las fallas del sistema SIAR no están generado diferidas (lucro cesante), la tasa de fallas presentada por este sistema consume mucha labor y repuestos de mantenimiento. Cuando se indagó al respecto, se encontró que el sistema posee serios problemas operacionales que requieren intervenir con re-diseño del proceso y cambio de algunos equipos. Es por esto que el flujo generado por la herramienta MOAT© se contempla al menos USD\$ 380.000 en el segundo y tercer año para conseguir estas mejoras.

El ahorro que arroja el ejercicio de optimización por aproximadamente 3 años de implementación muestra cerca de USD\$ 210.000 en ahorros. Por supuesto que esto tiene muchas fuentes de discusión en la medida que en su mayoría se consigue con ahorros entre el primero y segundo año por reducción de lucro cesante. Pero se está seguro con el cliente de que actividades enfocadas en los sistemas débiles pueden reditar ganancias prontas en términos de eficiencia y disponibilidad como es el caso del sistema de tratamiento de crudo y el sistema eléctrico.

En varios ejercicios sensibilidad pesimista de sobre el flujo entregado por la herramienta MOAT© se descubrió que el ahorro sigue siendo positivo entre USD\$ 200.000 y USD\$ 500.000 por año. Esto quiere decir que definitivamente cambios menos ambiciosos en la implementación de un programa corporativo de optimización de mantenimiento arrojarán resultados interesantes y justificables en términos económicos.

7. CONCLUSIONES

- ✓ Se cumplió con el objetivo de diseñar y desarrollar una herramienta computacional en la cual es posible:
 1. Documentar y analizar gráficamente los diferentes costos causados en la organización de mantenimiento periodo a periodo y el desempeño mediante indicadores.
 2. Evaluar el impacto financiero de la implementación de las mejores prácticas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad mediante la aplicación de un modelo de contribución que permite mostrar como el mantenimiento puede tener una alta incidencia en la rentabilidad de una empresa.
 3. Comparar escenarios de distintas estrategias de mantenimiento mediante la documentación de los costos e indicadores para periodos proyectados.
 4. Hacer análisis comparativo, mediante benchmarking, del estado actual del desempeño de los equipos con respecto a criterios documentados y aceptados a nivel mundial.
- ✓ El presente trabajo de grado aporta un criterio financiero bien estructurado a la implementación de alternativas de optimización a estrategias de mantenimiento mediante una buena gestión de los costos. Permite también, evaluar el desempeño de la organización de mantenimiento con el fin de saber qué tan cerca se está de los objetivos propuestos por la organización, para que en caso de haber desviaciones, sea posible tomar las medidas correctivas que apliquen.

- ✓ Las pruebas de funcionalidad de la herramienta con el fin de validar el adecuado funcionamiento de cada módulo resultaron positivas.
- ✓ El estudio de caso piloto para poner a prueba la herramienta computacional en un empresa de servicios Colombiana para el sector Petróleo & Gas permitió establecer nuevos criterios para evaluar el desempeño positivo o negativo de la gestión de mantenimiento y generó una guía para la aplicación de una metodología relativamente nueva en el sector real.
- ✓ Se elaboró un manual del usuario que sirve de soporte para el adecuado manejo de la herramienta computacional, en el cual se muestra de forma sencilla y clara el funcionamiento de la interfaz gráfica.
- ✓ La metodología aplicada en el caso de estudio piloto se propone como manual de procedimiento para la utilización de la herramienta computacional objeto del presente trabajo. Esta se complementa con el manual del usuario el cual se convierte en un instructivo específico para el uso de la herramienta.

8. RECOMENDACIONES

Se deben fomentar este tipo de proyectos en la universidad ya que muestran una visión alternativa y motivan el cambio que se debe dar sobre los paradigmas tradicionales relacionados con la función y objetivos de la organización de mantenimiento y su administración.

La herramienta desarrollada en este proyecto constituye un primer acercamiento al complemento necesario con el fin de administrar de forma integral el mantenimiento de los equipos en cualquier empresa, sin embargo está sujeta a mejoras. Se sugiere que sean tenidas en cuenta las siguientes posibilidades para siguientes fases:

- ✓ Integrar el análisis mediante series temporales (método de predicción basado en el uso de modelos estocásticos AR.I.MA - Auto-Regressive, Integrated, Moving Average) con el análisis financiero que se ejecuta en MOAT©.

- ✓ Existen muchas limitantes en Microsoft® Excel® porque la herramienta no tiene completa autonomía en la ejecución de los procesos y en la visualización de los resultados. Se debe evaluar la posibilidad de migrar a una plataforma de desarrollo que permita generar proyectos con archivos de ejecución independiente.

BIBLIOGRAFÍA

BARBOSA VALBUENA, William y MEJIA UPEGUI, Milton. Diseño e Implementación de un Modelo Sistémico para la Obtención de Índices de Gestión de la Función Mantenimiento en la Gerencia Llanos de Ecopetrol. Bogotá D.C., 1999. 46 p. Monografía (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

BRAGG, Steven M. Cost Reduction Analysis: Tools and Strategies. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010. 336 p.

CANEL, Cem y RISHEL, Tracy. Using a maintenance contribution model to predict the impact of maintenance on profitability. En: Journal of Information and Optimization Sciences. May-June, 2006, vol. 27, no. 1, p. 21-34.

DUMMER, G.W.A.; TOOLEY, M.H. y WINTON, R.C. An Elementary Guide to Reliability. 5 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. 112 p.

GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial: Principios Fundamentales. Bogotá D.C.: Ediciones de la U, 2012. 168 p.

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 2 ed. Madrid: Fundación Confemetal, 2005. 525 p.

GUANGBIN, Yang. Life Cycle Reliability Engineering. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2007. 517 p.

HAWKINS, Bruce y SMITH, Ricky. Lean Maintenance: Reduce Costs; Improve Quality, and Increase Market Share. 2 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2004. 287 p.

HINCHCLIFFE, Glenn R. y SMITH, Anthony M. RCM: Gateway to World Class Maintenance. 2 ed. Burlington: Elsevier, 2004. 337 p.

HIGGINS, Lindley R.; MOBLEY, R. Keith y WIKOFF, Darrin J. Maintenance Engineering Handbook. 7 ed. New York: McGraw-Hill, 2008. 1200 p.

MITCHELL, Jhon S. Physical Asset Management Handbook. 4 ed. Houston: Clarion Technical Publishers, 2007. 446 p.

MOBLEY, R. Keith y SMITH, Ricky. Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. 336 p.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Bogotá: Alfaomega, 2009. 504 p.

PABÓN BARAJAS, Hernán. Gerencia Financiera del Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento. 84 p.

PALLEROLA, Joan. Los Macros en Microsoft® Excel® 2010. 2 ed. Madrid: RA-MA Grupo Editor, 2011. 316 p.

PETERS, Ralph W. Maintenance Benchmarking and Best Practices. New York: McGraw-Hill, 2006. 566 p.

RAD, Parviz F. Project Estimating and Cost Management. Vienna: Management Concepts, 2002. 121 p.

SENN, James A. Análisis y diseño de sistemas de información. 2 ed. México: McGraw-Hill, 1991. 942 p.

STAPENHURST, Tim. The Benchmarking Book: A How-to-Guide to Best Practice for Managers and Practitioners. Oxford: Elsevier, 2009. 445 p.

WALKENBACH, John. Excel® 2010 Power Programming with VBA. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2010. 1080 p.

WIREMAN, Terry. Benchmarking Best Practices in Maintenance Management. 2 ed. New York: Industrial Press, Inc., 2010. 234 p.

WOODHOUSE, John. Putting the total jigsaw puzzle together: PAS 55 standard for the integrated, optimized management of assets. En: International Maintenance Conference (21: 2006: Fort Myers, FL). Memories. Fort Myers: Reliability Web, 2006. 12 p.

ANEXOS

ANEXO A. Carta Certificación Caso de Estudio Piloto



Bogotá, Abril 21 de 2014

Señores
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad Industrial de Santander

Apreciados señores,

La presente tiene como objetivo certificar que la herramienta informática MOAT (Maintenance Organization Assessment Tool) elaborada por el estudiante **Carlos Alberto Echávez Martínez** identificado con el código 2063163; fue utilizada dentro del marco de un proyecto piloto sin costo como base de análisis de medición de valor económico en la proyección de optimizaciones de la organización de mantenimiento para un cliente específico en el sector Petróleo y Gas.

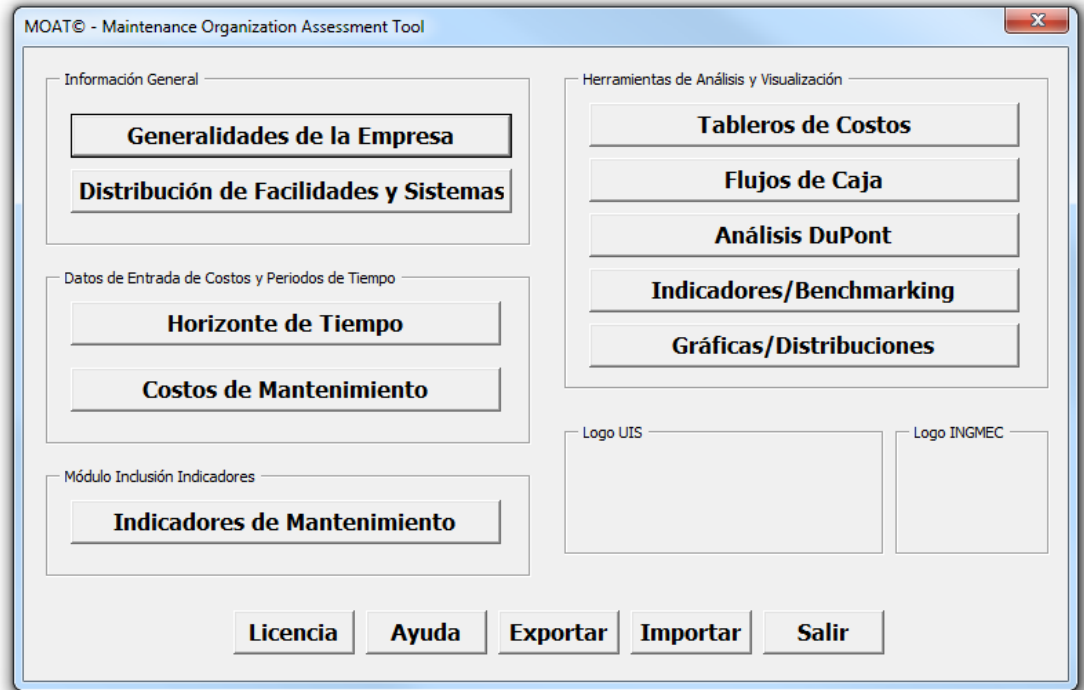
En relación con la herramienta en mención, podemos afirmar que satisfactoriamente permite complementar el criterio técnico con elementos financieros de discernimiento que ilustran las bondades de implementar un programa corporativo de optimización a una organización de mantenimiento.

Atentamente,

Ing. Alex Montero
ALEX IVAN MONTERO TRESPALCIOS
Coordinador de Proyectos

ANEXO B. Diseño Inicial de la Interfaz Gráfica

Ventana Principal



Módulo Información General - Ventana Generalidades de la Empresa

Generalidades de la Empresa

Nombre

Ubicación

Ejecutor Análisis

Sector Productivo

Aceptar Cancelar

Módulo Información General - Distribución Facilidades y Sistemas

Ventana Agregar/Editar/Eliminar Facilidades

The screenshot shows a window titled "Distribución de Facilidades y Sistemas". It features a "General" section with a list of facilities: FAC-1 (checked), FAC-2, FAC-3, and FAC-N. To the right of this list are three buttons: "Agregar", "Editar", and "Eliminar". At the bottom of the window are two buttons: "Aceptar" and "Regresar".

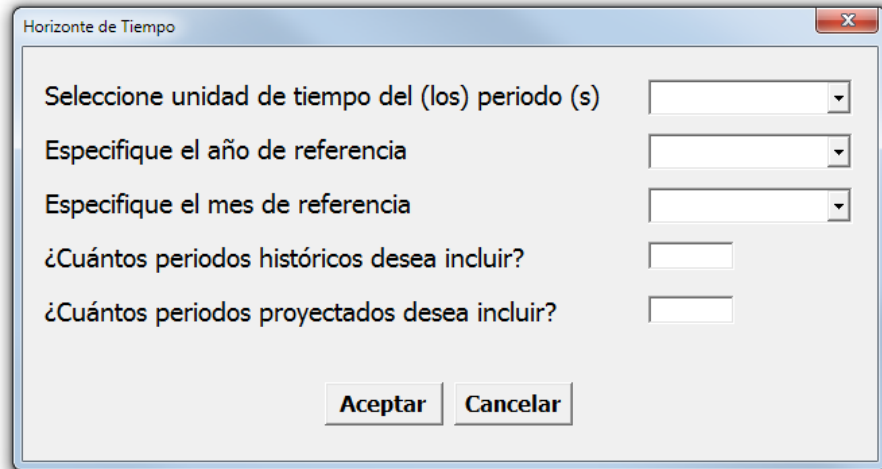
Ventana Edición Facilidad - Agregar/Editar/Eliminar Sistemas

The screenshot shows a window titled "Información de la facilidad". It has a "Nombre" label and an empty text input field. Below it is a "Comentarios" label and a larger empty text area. In the lower section, there is a "Sistemas" section with a list of systems: SIST-1 (checked), SIST-2, SIST-3, and SIST-N. To the right of this list are three buttons: "Agregar", "Editar", and "Eliminar". At the bottom of the window are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Ventana Edición Sistema

The screenshot shows a window titled "Información del Sistema". It has a "Nombre" label and an empty text input field. Below it is a "Comentarios" label and a larger empty text area. At the bottom of the window are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Módulo Datos de Entrada de Costos y Periodos de Tiempo - Ventana Horizonte de Tiempo



Horizonte de Tiempo

Seleccione unidad de tiempo del (los) periodo (s)

Especifique el año de referencia

Especifique el mes de referencia

¿Cuántos periodos históricos desea incluir?

¿Cuántos periodos proyectados desea incluir?

Módulo Datos de Entrada de Costos y Periodos de Tiempo - Costos de Mantenimiento

Ventana Selección Moneda, Costos e Inversiones



Costos de Mantenimiento

¿Qué moneda desea utilizar?

Costos

Ventana Costos Directos/Periodos Históricos

Costos Directos/Periodos Históricos

Labores de Mantenimiento

Costos Hora Hombre

Horas Hombre Totales

Otros Costos Directos

Repuestos

Fungibles/Consumibles

Servicios

<< Regresar

Ventana Labores de Mantenimiento - Costos Hora Hombre

Labores de Mantenimiento

Facilidad:

Sistema:

¿Cómo desea incluir el costo de las hora hombre?

Por especialidad

Promedio

P-01 | P-02 | P-N |

Por especialidad

Mecánico (\$)

Eléctrico (\$)

Instrumentación (\$)

Promedio

Costo Unitario Hora Hombre (\$)

Guardar

<< Regresar

Ventana Labores de Mantenimiento - Horas Hombre Totales

Labores de Mantenimiento

Facilidad:

Sistema:

¿Cómo desea incluir la relación de las Horas Hombre Totales?

Por especialidad

Totales

P-01 | P-02 | P-N

Correctivo (Horas)	<input type="text"/>
Mecánico (Horas)	<input type="text"/>
Eléctrico (Horas)	<input type="text"/>
Instrumentación (Horas)	<input type="text"/>
Preventivo (Horas)	<input type="text"/>
Mecánico (Horas)	<input type="text"/>
Eléctrico (Horas)	<input type="text"/>
Instrumentación (Horas)	<input type="text"/>

<< Regresar

Ventana Otros Costos Directos - Repuestos

Otros Costos Directos/Repuestos

Facilidad:

Sistema:

P-01 | P-02 | P-N

Costo Total Repuestos

Correctivo (\$)	<input type="text"/>
Preventivo (\$)	<input type="text"/>
Paradas de Planta (\$)	<input type="text"/>
Otras Actividades(\$)	<input type="text"/>

<< Regresar

Ventana Otros Costos Directos - Materiales/Fungibles/Consumibles

Otros Costos Directos/Fungibles/Consumibles

Facilidad:

Sistema:

Editar

P-01 | P-02 | P-N |

Costo Total

Materiales/Fungibles/Consumibles (\$)

<< Regresar

Ventana Otros Costos Directos - Servicios

Otros Costos Directos/Servicios

Facilidad:

Sistema:

Editar

P-01 | P-02 | P-N |

Costo Total Servicios

Correctivo (\$)

Preventivo (\$)

Predictivo (\$)

Paradas de Planta (\$)

Otras Actividades(\$)

<< Regresar

Ventana Costos Directos/Periodos Projectados

Costos Directos Periodos Projectados

Facilidad: Editar

Sistema: Editar

P-01 | P-02 | P-N |

Labores de mantenimiento

Correctivo (\$)

Preventivo (\$)

Predictivo (\$)

Repuestos

Correctivo (\$)

Preventivo (\$)

Fungibles/consumibles (\$)

Servicios (\$)

Guardar

<< Regresar

Ventana Costos Indirectos - Selección/Edición Costos del Personal

Costos Indirectos

¿Qué costos indirectos desea incluir?

Costos del Personal | Otros Costos Indirectos |

Nivel Gerencia

Nivel Supervisión

Nivel Planeación

Nivel Confiabilidad

Otro

Guardar

Agregar

Editar

Eliminar

<< Regresar Continuar

Ventana Costos Indirectos - Selección/Edición Otros Costos Indirectos

Costos Indirectos

¿Qué costos indirectos desea incluir?

Costos del Personal | Otros Costos Indirectos

- Arriendos
- Transporte/vehículos
- Oficinas/equipos de cómputo/software
- Comunicaciones
- Salud, seguridad, calidad y medio ambiente
- Administración, legales y servicios de seguridad
- Otro

Ventana Costos Directos Indirectos/Periodos Históricos y Projectados

Costos Indirectos

Facilidad:

P-01 | P-02 | P-N

Costos del Personal

- Nivel Gerencia (\$)
- Nivel Supervisión (\$)
- Nivel Planeación (\$)
- Nivel Confiabilidad (\$)

Otros Costos Indirectos

- Arriendos (\$)
- Transporte/vehículos (\$)
- Comunicaciones (\$)
- Salud, seguridad, calidad y medio ambiente (\$)

Ventana Costos de No Mantenimiento

Costos de No Mantenimiento

Facilidad: **Editar**

Sistema: **Editar**

P-01 | P-02 | P-N |

Costos de no mantenimiento

Costo total lucro cesante (\$)

Guardar

<< Regresar

Ventana Inversiones - Selección/Edición Inversiones

Inversiones

¿Qué inversiones desea incluir?

Especificación Estructura Inversiones

Consultoría

Proyectos

Equipos: Compra/Cambio

Equipos: Modificación/Revamp

Otro

Agregar

Editar

Eliminar

Guardar

<< Regresar **Continuar**

Ventana Inversiones/Periodos Históricos y Proyectados

Inversiones

Facilidad: Editar

P-01 | P-02 | P-N

Inversiones

Consultoría (\$)

Proyectos

Equipos: Compra/Cambio (\$)

Equipos: Modificación/Revamp (\$)

Guardar

<< Regresar

Módulo Inclusión de Indicadores - Indicadores de Mantenimiento

Ventana Indicadores de Mantenimiento para Facilidades

Indicadores de Mantenimiento

Facilidad: Editar

Sistema: Editar

P-01 | P-02 | P-N

Disponibilidad (A) - Horas

Disponibilidad (A) - %

Confiabilidad (R) - %

Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas

Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas

Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas

Tiempo disponible (Uptime) - Horas

Tiempo no disponible (Downtime) - Horas

Rendimiento de la producción - %

Factor de calidad - %

Eficiencia global de equipos (OEE) - %

Guardar

<< Regresar

Ventana Indicadores de Mantenimiento para Sistemas

Indicadores de Mantenimiento

Facilidad: Editar

Sistema: Editar

P-01 | P-02 | P-N

Disponibilidad (A) - Horas

Disponibilidad (A) - %

Confiabilidad (R) - %

Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas

Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas

Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas

Tiempo disponible (Uptime) - Horas

Tiempo no disponible (Downtime) - Horas

Guardar

<< Regresar

Módulo Herramientas de Análisis y Visualización

Ventana Selección Tableros de Costos

Tableros de Costos

¿Qué tableros (s) desea visualizar?

Tableros de costos por facilidad

FAC-1

FAC-2

FAC-3

FAC-N

Generar/Mostrar Resultados

<< Regresar Ayuda

Esquema Hoja Tablero de Costos por Facilidad

Empresa: XXX
 Facilidad: XXX
 Ejecutor Análisis: XXX



Todas las cifras están en millones moneda seleccionada

	HISTORICOS		PROYECTADOS	
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
FAC-1				
Costos directos mantenimiento				
Labores HH	(\$ 112) 36,4%	(\$ 122) 38,4%	(\$ 68) 28,6%	(\$ 58) 27,6%
Respuestos	(\$ 90) 29,2%	(\$ 90) 28,3%	(\$ 70) 29,4%	(\$ 62) 29,5%
Materiales/Fungibles/Consumibles	(\$ 40) 13,0%	(\$ 40) 12,6%	(\$ 40) 16,8%	(\$ 40) 19,0%
Servicios	(\$ 66) 21,4%	(\$ 66) 20,7%	(\$ 60) 25,2%	(\$ 50) 23,8%
Total costos directos	(\$ 308)	(\$ 318)	(\$ 238)	(\$ 210)
Variación anual/Costos Directos	-	(\$ 10)	\$ 80	\$ 28
Costos indirectos mantenimiento				
Costos administrativos/personal	(\$ 200) 66,7%	(\$ 200) 66,7%	(\$ 200) 66,7%	(\$ 200) 66,7%
Nivel Gerencia	(\$ 100)	(\$ 100)	(\$ 100)	(\$ 100)
Nivel Supervisión	(\$ 50)	(\$ 50)	(\$ 50)	(\$ 50)
Nivel Planeación	(\$ 50)	(\$ 50)	(\$ 50)	(\$ 50)
Otros/Costos Indirectos	(\$ 100) 33,3%	(\$ 100) 33,3%	(\$ 100) 33,3%	(\$ 100) 33,3%
Arriendos	(\$ 50)	(\$ 50)	(\$ 50)	(\$ 50)
Transporte/vehículos	(\$ 25)	(\$ 25)	(\$ 25)	(\$ 25)
Comunicaciones	(\$ 25)	(\$ 25)	(\$ 25)	(\$ 25)
Total costos indirectos	(\$ 300)	(\$ 300)	(\$ 300)	(\$ 300)
Variación anual/Costos Indirectos	-	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Inversiones/Ingeniería				
Consultoría	(\$ 100) 25,0%	(\$ 100) 25,00%	(\$ 100) 25,00%	(\$ 100) 25,00%
Proyectos	(\$ 300) 75,0%	(\$ 300) 75,00%	(\$ 300) 75,00%	(\$ 300) 75,00%
Equipos: Compra/Cambio	(\$ 200)	(\$ 200)	(\$ 200)	(\$ 200)
Equipos: Modificación/Revamp	(\$ 100)	(\$ 100)	(\$ 100)	(\$ 100)
Inversiones totales	(\$ 400)	(\$ 400)	(\$ 400)	(\$ 400)
Variación anual/Inversiones	-	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costos de no mantenimiento (Lucro cesante)				
Costo total lucro cesante	(\$ 600)	(\$ 500)	(\$ 400)	(\$ 300)
Variación anual/Lucro cesante	-	\$ 100	\$ 100	\$ 100
SISTEMA-1				
Costos directos mantenimiento				
Labores HH	(\$ 56) 36,4%	(\$ 61) 39,7%	(\$ 34) 22,1%	(\$ 29) 18,8%
Respuestos	(\$ 45) 29,2%	(\$ 45) 29,2%	(\$ 35) 22,7%	(\$ 31) 20,1%
Materiales/Fungibles/Consumibles	(\$ 20) 13,0%	(\$ 20) 13,0%	(\$ 20) 13,0%	(\$ 20) 13,0%
Servicios	(\$ 33) 21,4%	(\$ 33) 21,4%	(\$ 30) 19,5%	(\$ 25) 16,2%
Total costos directos	(\$ 154)	(\$ 159)	(\$ 119)	(\$ 105)

Esquema Hoja Tablero de Costos por Facilidad (continuación)

	HH	\$\$	%	HH	\$\$	%	\$\$	%	\$\$	%
Labores de mantenimiento										
<i>Correctivo</i>	2.000	\$ 20	35,7%	1.900	\$ 23	37,3%	\$ 18	52,9%	\$ 15	51,7%
<i>Preventivo</i>	1.500	\$ 15	26,8%	1.400	\$ 17	27,5%	\$ 13	38,2%	\$ 12	41,4%
<i>Predictivo</i>	500	\$ 5	8,9%	400	\$ 5	7,8%	\$ 3	8,8%	\$ 2	6,9%
<i>Paradas de Planta</i>	1.000	\$ 10	17,9%	900	\$ 11	17,6%	N/A		N/A	
<i>Otras actividades</i>	600	\$ 6	10,7%	500	\$ 6	9,8%	N/A		N/A	
Costos totales labores mantenimiento	5.600	\$ 56	100%	5.100	\$ 61	100%	\$ 34	100%	\$ 29	100%
Variación anual/Costos Labores de mantenimiento		-			(\$ 5)		\$ 27		\$ 5	
Repuestos										
<i>Correctivo</i>		\$ 20	44,4%		\$ 20	44,4%	\$ 20	57,1%	\$ 18	58,1%
<i>Preventivo</i>		\$ 15	33,3%		\$ 15	33,3%	\$ 15	42,9%	\$ 13	41,9%
<i>Paradas de Planta</i>		\$ 10	22,2%		\$ 10	22,2%	N/A		N/A	
<i>Otras actividades</i>		\$ 0	0,0%		\$ 0	0,0%	N/A		N/A	
Costos totales repuestos		\$ 45			\$ 45		\$ 35		\$ 31	
Variación anual/Costos repuestos		-			\$ 0		\$ 10		\$ 4	
Materiales/fungibles/consumibles										
Costos totales materiales/fungibles		\$ 20			\$ 20		\$ 20		\$ 20	
Variación anual/Costos materiales/fungibles		-			\$ 0		\$ 0		\$ 0	
Servicios										
<i>Correctivo</i>		\$ 10	30,3%		\$ 10	30,3%				
<i>Preventivo</i>		\$ 6	18,2%		\$ 6	18,2%				
<i>Predictivo</i>		\$ 3	9,1%		\$ 3	9,1%				
<i>Paradas de Planta</i>		\$ 10	30,3%		\$ 10	30,3%				
<i>Otras actividades</i>		\$ 4	12,1%		\$ 4	12,1%				
Costos totales servicios		\$ 33			\$ 33		\$ 30		\$ 25	
Variación anual/Costos servicios		-			\$ 0		\$ 3		\$ 5	
Costos de no Mantenimiento (Lucro cesante)		\$\$			\$\$		\$\$		\$\$	
Lucro cesante		\$ 100			\$ 90		\$ 80		\$ 70	
Costo total lucro cesante		(\$ 100)			(\$ 90)		(\$ 80)		(\$ 70)	
Variación anual lucro cesante		-			\$ 10		\$ 10		\$ 10	

Ventana Selección/Edición Flujos de Caja

Flujos de Caja

Estructura del flujo de caja a mostrar

¿Qué flujo (s) de caja desea visualizar?

General (todas las facilidades)

Por facilidad

Flujos de caja por facilidad

FAC-1

FAC-2

FAC-3

FAC-N

Aceptar

¿Cómo desea visualizar el (los) flujo (s)?

Global

Detallado

Continuar

<< Regresar Ayuda

Ventana Selección/Edición Criterios de Evaluación Financiera

Criterios de evaluación financiera

Criterio de evaluación financiera

¿Qué criterio de evaluación financiera desea analizar?

Valor Presente Neto (VPN)

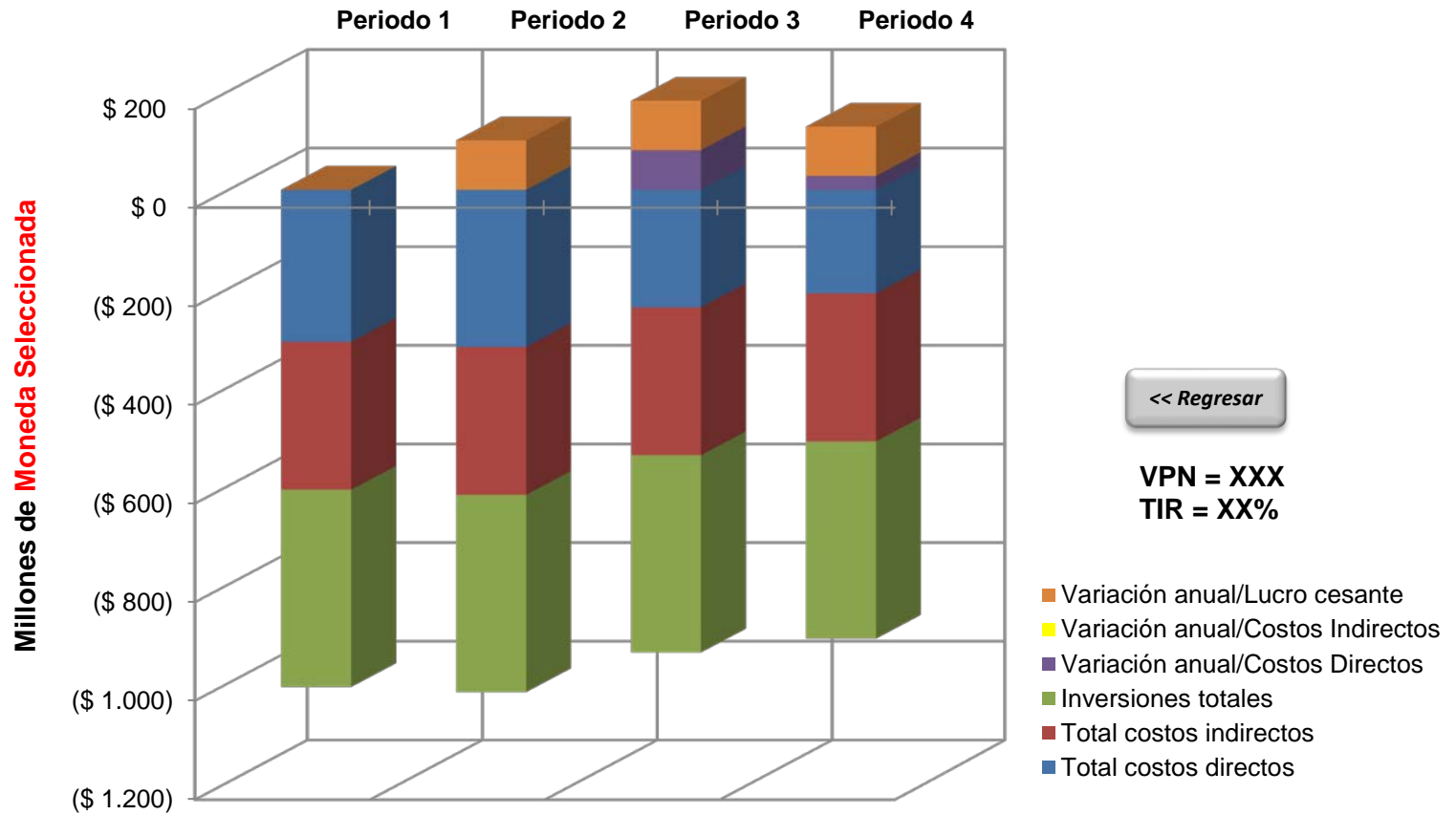
Tasa de Descuento (%)

Tasa Interna de Retorno (TIR)

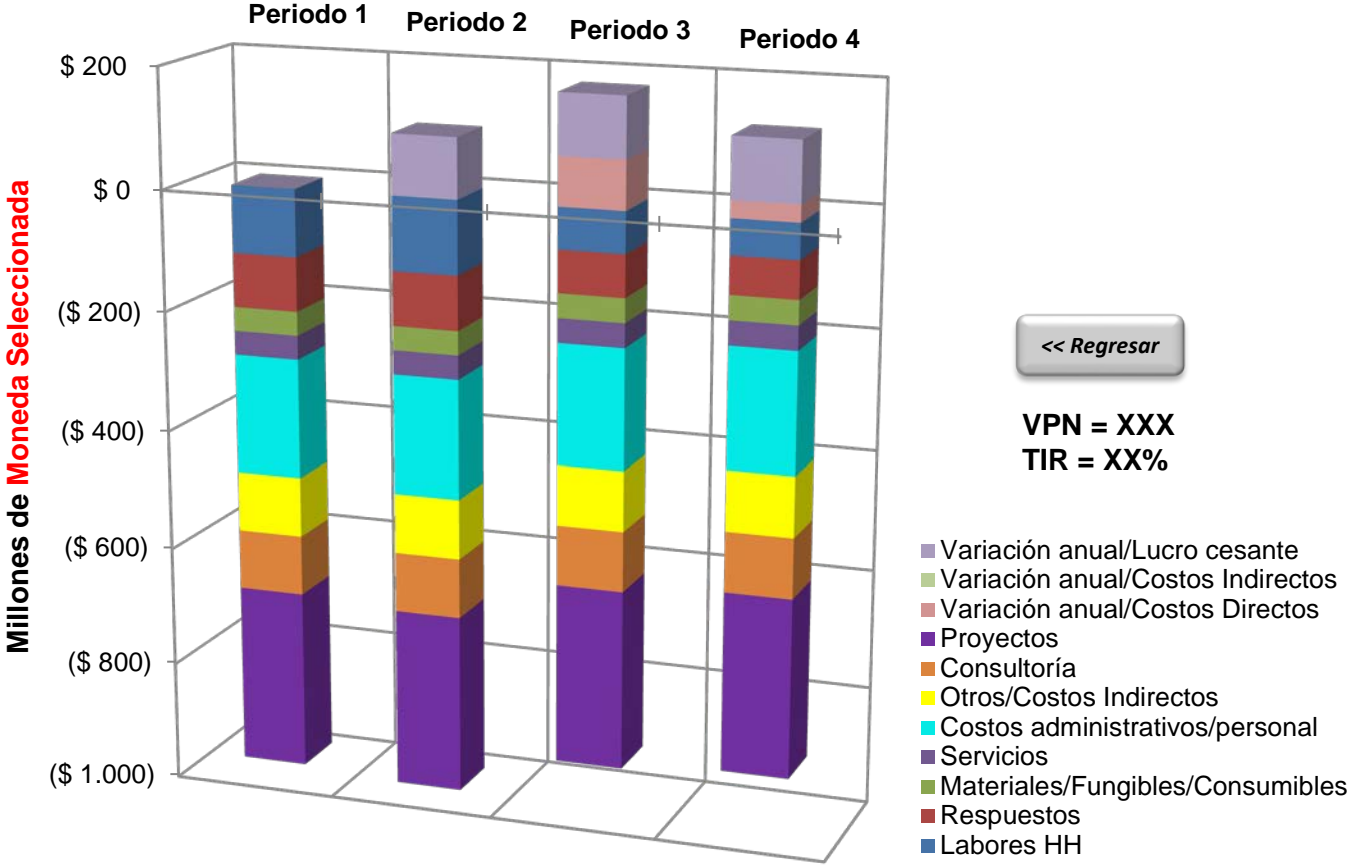
Generar/Mostrar Resultados

<< Regresar

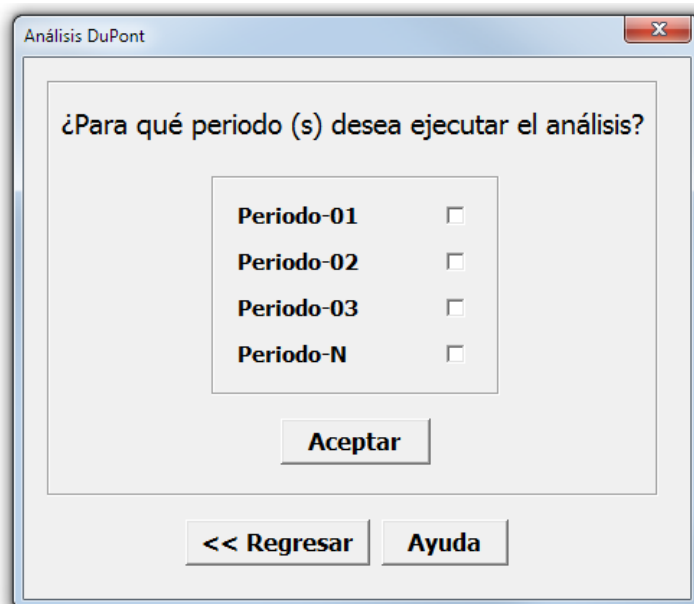
Esquema Gráfica Flujo de Caja Global



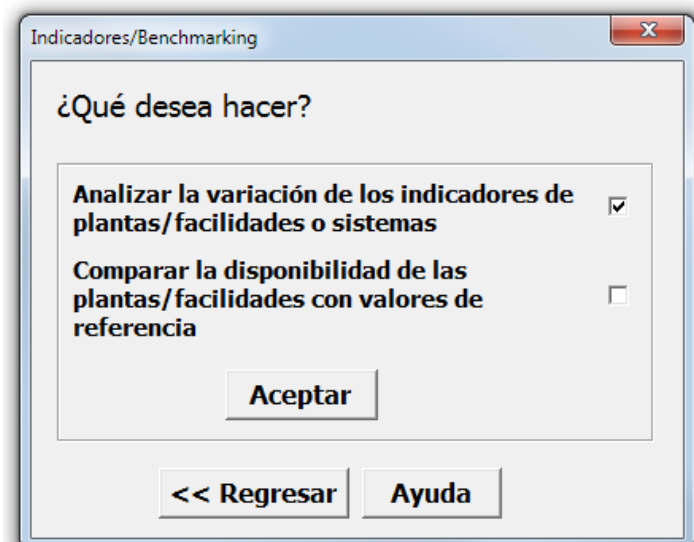
Esquema Gráfica Flujo de Caja Detallado



Ventana Selección Periodos para Análisis DuPont

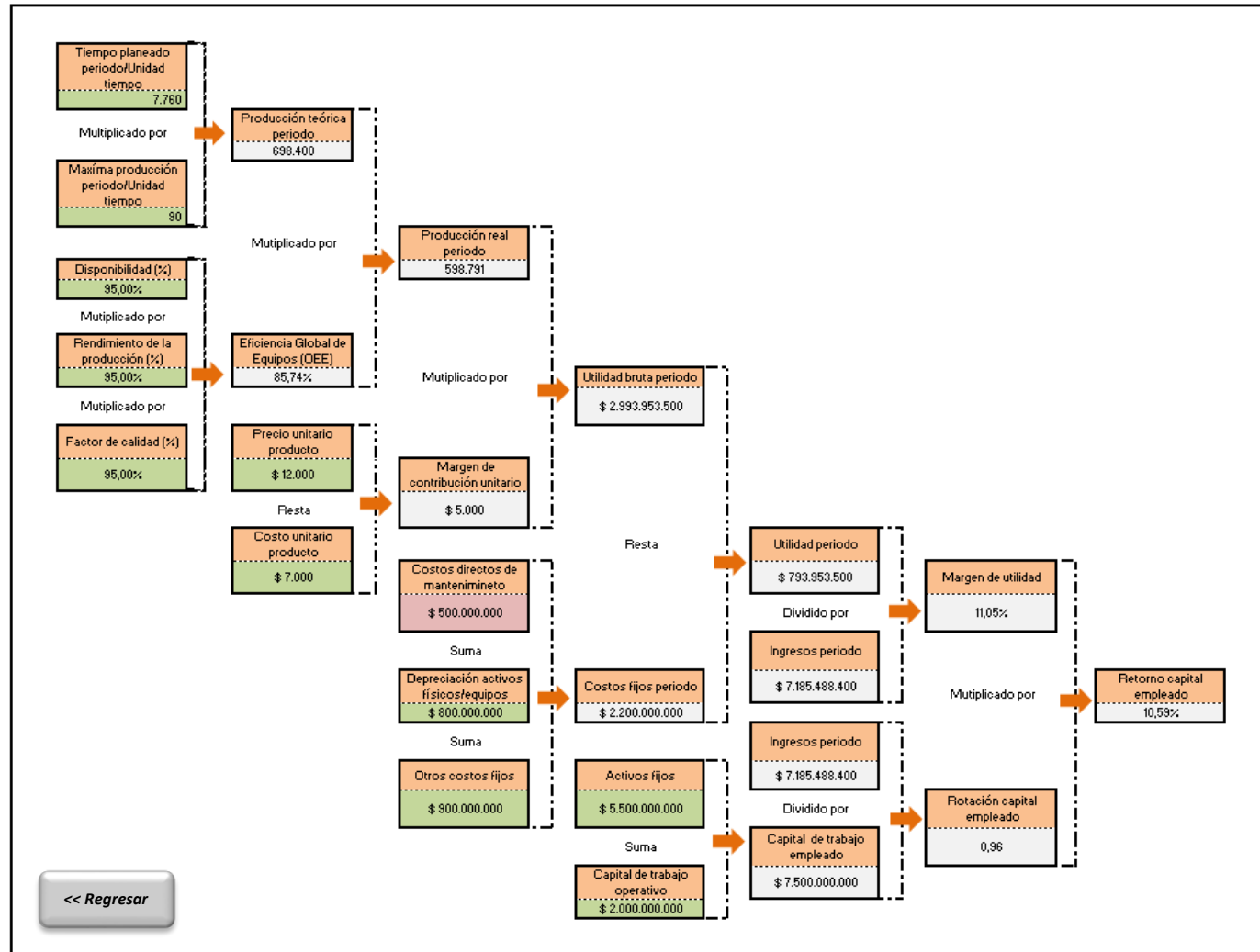


Ventana Selección Análisis de Indicadores/Benchmarking



Esquema Modelo de Análisis DuPont

Análisis DuPont para: **Periodo XX**



Ventana Selección Facilidades/Sistemas para Análisis de Indicadores

Indicadores X

Periodos: P-01 P-02 P-03 P-N

Por favor especifique

Plantas/Facilidades

FAC-1

FAC-2

FAC-3

FAC-N

Sistemas FAC-1

Sistema-01

Sistema-02

Sistema-03

Sistema-N

Esquema Hoja Análisis Variación de Indicadores

FACILIDAD XX	P-01	P-02	P-03	P-N
Disponibilidad (A) (Horas)	2.500	3.000	2.900	3.000
Disponibilidad (A) (%)	90	85	92	93
Confiabilidad (R) (%)	91	88	94	95
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	92	87	95	96
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	91	86	96	97
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	92	84	94	98
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	93	89	95	96
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	94	88	92	94
Rendimiento de la producción - %	92	87	93	96
Factor de calidad - %	90	86	94	96
Eficiencia global de equipos (OEE) - %	85	83	96	97

FACILIDAD XX	P-01	P-02	P-03	P-N
Disponibilidad (A) (Horas)	2.500	3.000	2.900	3.000
Disponibilidad (A) (%)	90	85	92	93
Confiabilidad (R) (%)	91	88	94	95
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	92	87	95	96
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	91	86	96	97
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	92	84	94	98
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	93	89	95	96
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	94	88	92	94
Rendimiento de la producción - %	92	87	93	96
Factor de calidad - %	90	86	94	96
Eficiencia global de equipos (OEE) - %	85	83	96	97

SISTEMA XXX	P-01	P-02	P-03	P-N
Disponibilidad (A) (Horas)	2.500	3.000	2.900	3.000
Disponibilidad (A) (%)	90	85	92	93
Confiabilidad (R) (%)	91	88	94	95
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	92	87	95	96
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	91	86	96	97
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	92	84	94	98
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	93	89	95	96
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	94	88	92	94

SISTEMA XXX	P-01	P-02	P-03	P-N
Disponibilidad (A) (Horas)	2.500	3.000	2.900	3.000
Disponibilidad (A) (%)	90	85	92	93
Confiabilidad (R) (%)	91	88	94	95
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	92	87	95	96
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	91	86	96	97
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	92	84	94	98
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	93	89	95	96
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	94	88	92	94

Ventana Selección Facilidades para Benchmarking

Esquema Hoja Análisis Comparativo/Benchmarking

FACILIDAD XX								
	P-01		P-02		P-03		P-N	
Disponibilidad (A) (%)	90	Lider	89	Lider	89	Lider	89	Lider
Rendimiento de la producción - %	85	Proactivo	87	Proactivo	87	Proactivo	87	Proactivo
Factor de calidad - %	80	Proactivo	85	Proactivo	85	Proactivo	85	Proactivo
Eficiencia global de equipos (OEE) - %	61,2	Emergente	65,8	Lider	65,8	Lider	65,8	Lider

FACILIDAD XX								
	P-01		P-02		P-03		P-N	
Disponibilidad (A) (%)	90	Lider	89	Lider	89	Lider	89	Lider
Rendimiento de la producción - %	85	Proactivo	87	Proactivo	87	Proactivo	87	Proactivo
Factor de calidad - %	80	Proactivo	85	Proactivo	85	Proactivo	85	Proactivo
Eficiencia global de equipos (OEE) - %	61,2	Emergente	65,8	Lider	65,8	Lider	65,8	Lider

<< Regresar Mostrar Indicadores Benchmarking

Ventana Selección Gráficas a mostrar para Facilidades/Sistemas

Gráficas/Distribuciones

Facilidad: Seleccionar

Sistema: Seleccionar

Periodos: P-01 P-02 P-03 P-N

Gráfica Uno

Gráfica Dos

Gráfica Tres

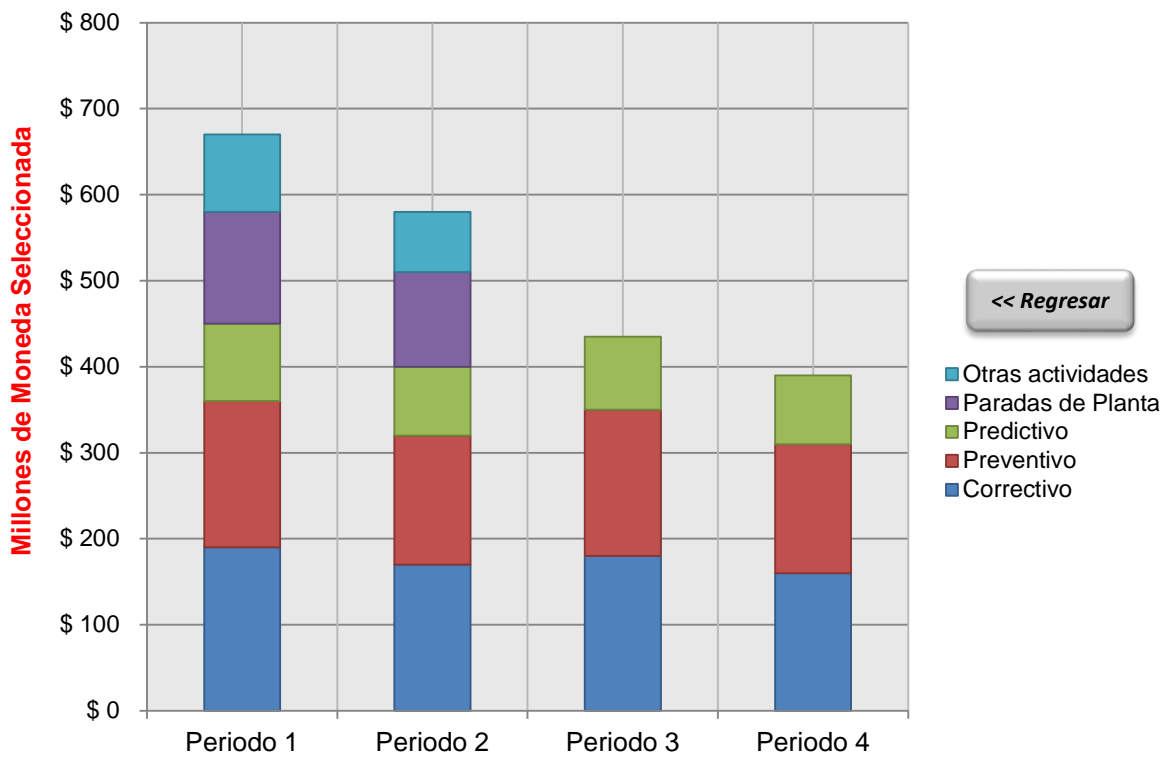
Gráfica Cuatro

Generar/Mostrar Resultados

<< Regresar Ayuda

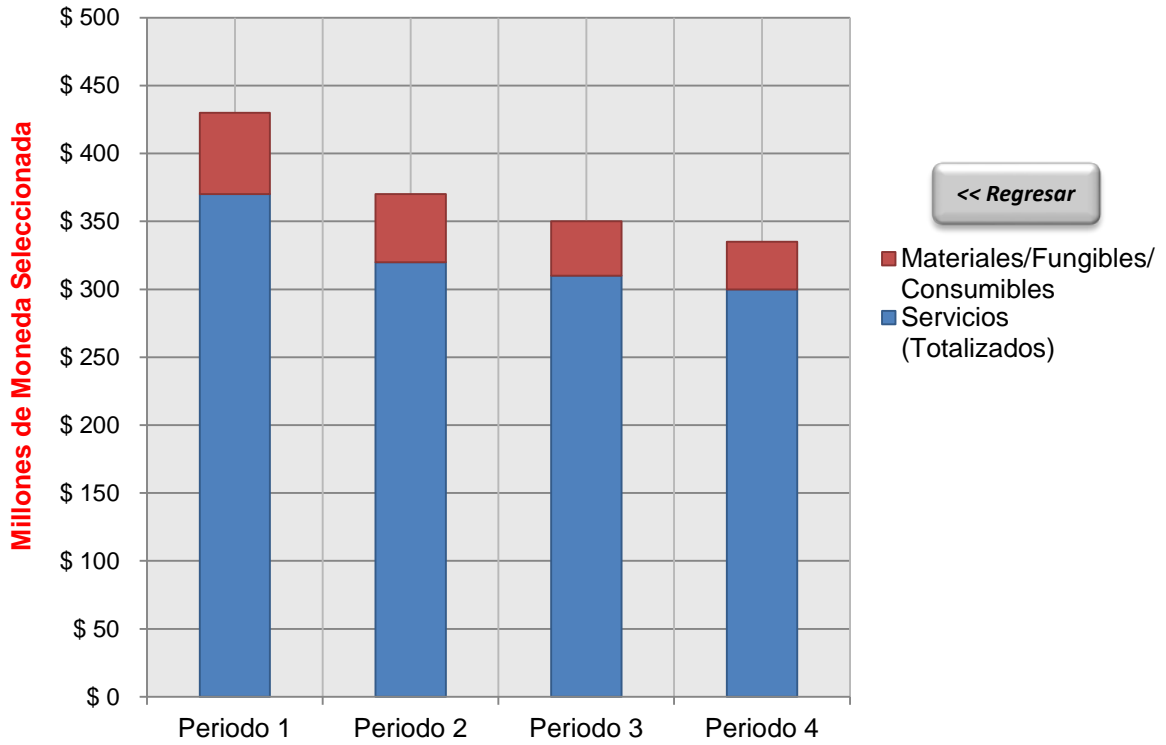
Esquema Gráfica número 1

Variación Costos de Ejecución Facilidad XX/Sistema XX/Periodo XX



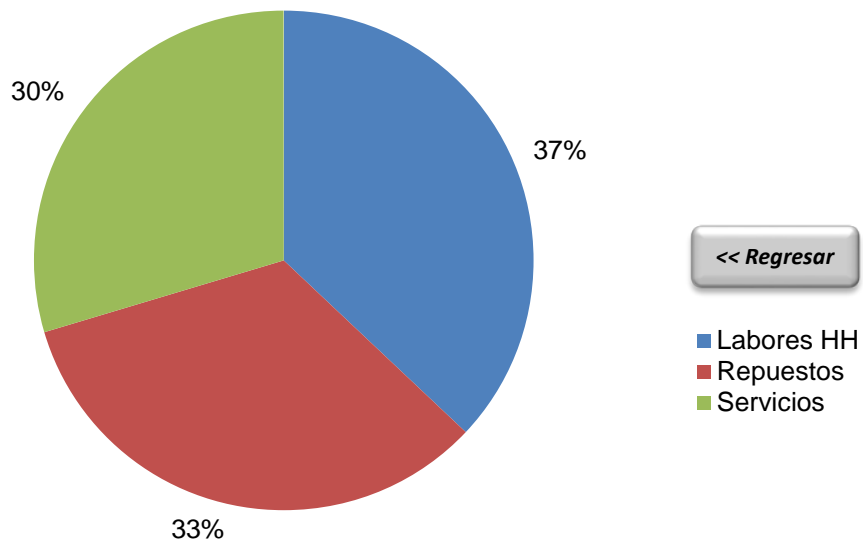
Esquema Gráfica número 2

Variación Costos Servicios y Fungibles/Consumibles Facilidad XX/Sistema XX/Periodo XX

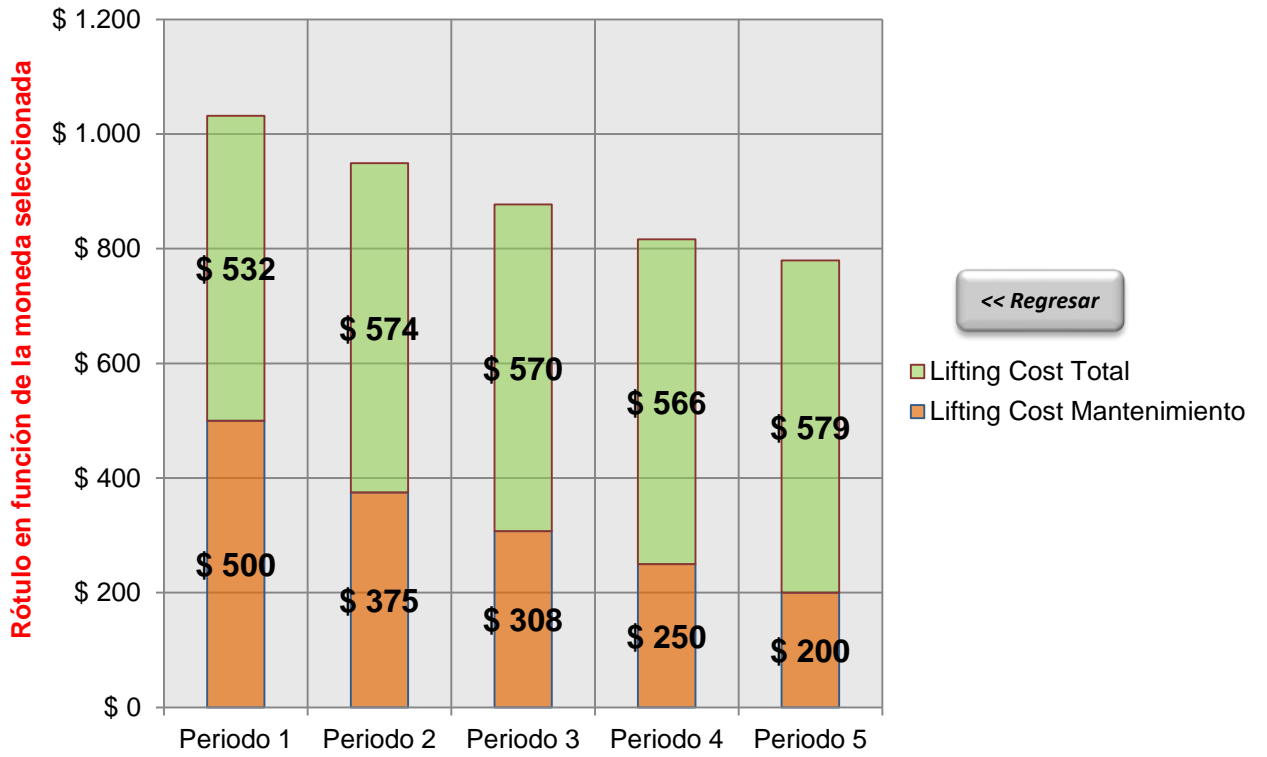


Esquema Gráfica número 3

Distribución de Costos Correctivo Facilidad XX/Sistema XX/Periodo XX



Esquema Gráfica número 4



MOAT©

Maintenance Organization Assessment Tool ©

Manual del Usuario



AGRADECIMIENTOS

Maintenance Organization Assessment Tool - MOAT© fue diseñada y desarrollada como parte del trabajo de grado titulado: “DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA DOCUMENTACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO Y SU IMPACTO FINANCIERO EN LAS ORGANIZACIONES” con el apoyo y asesoría de los ingenieros:

Isnardo González Jaimes, Director del Trabajo de Grado

Luís Fernando Echávez Martínez, Codirector del Trabajo de Grado

Nicolás Fernando Beltrán Garavito, Profesional Experto en Programación

El autor, Carlos Alberto Echávez Martínez, desea expresar su inmensa gratitud por su valiosa colaboración.

Copyright 2014, Universidad Industrial de Santander

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. DESCRIPCIÓN GENERAL	4
2. COMPATIBILIDAD	4
3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA	4
3.1 CONFIGURACIÓN	5
3.2 VENTANA PRINCIPAL	7
3.3 MÓDULO DE INFORMACIÓN GENERAL	9
3.3.1 Generalidades de la empresa	9
3.3.2 Distribución de facilidades y sistemas	10
3.4 MÓDULO DATOS DE ENTRADA DE COSTOS Y PERIODOS DE TIEMPO	11
3.4.1 Horizonte de tiempo	12
3.4.2 Costos de mantenimiento	13
3.4.2.1 Costos directos periodos históricos	16
3.4.2.2 Costos directos periodos proyectados	20
3.4.2.3 Costos indirectos	22
3.4.2.4 Costos de no mantenimiento	23
3.4.2.5 Inversiones	24
3.5 MÓDULO DE INCLUSIÓN DE INDICADORES	25
3.5 MÓDULO HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN	27
3.5.1 Tableros de costos	27
3.5.2 Flujos de caja	29
3.5.3 Análisis DuPont	30
3.5.4 Indicadores/Benchmarking	32
3.5.4 Gráficas/Distribuciones	33

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Esta herramienta computacional es, en esencia, un sistema de información que compila formularios basados en hojas de cálculo de Microsoft® Excel® los cuales fueron diseñados con el fin de responder a la necesidad planteada por los directivos de los departamentos de operaciones (producción y mantenimiento) de documentar y evaluar los resultados de la gestión y ejecución del mantenimiento de los equipos en los diferentes sectores industriales. El objetivo de desarrollar esta herramienta es integrar en una sola instancia herramientas financieras, modelos de análisis del desempeño, herramientas de comparación y, la documentación y evaluación de indicadores.

2. COMPATIBILIDAD

La herramienta fue desarrollada en Microsoft® Windows® 7 SP1 usando Microsoft® Excel® 2010. El archivo fue programado con compatibilidad de Excel® 2007-2010-2013 con el fin de proveer una mayor versatilidad en su uso por parte de los usuarios.

Se han hecho todos los esfuerzos posibles con el fin de evitar errores de compatibilidad pero, teniendo en cuenta que los procedimientos se escriben en Microsoft® Visual Basic® para Aplicaciones (VBA) versión 7.0, es posible que ocurran problemas debido a la ubicación de las librerías. Estos problemas ocurren cuando Excel® es actualizado y los directorios de acceso a las librerías de Visual Basic® son cambiados. Este error puede ser reparado al corregir la ubicación de las librerías: abrir el editor de VBA (en la ventana principal de Excel®, presionar Alt+F11), en el menú “Herramientas” seleccionar “Referencias”, luego seleccionar la librería que fue modificada y finalmente buscarla con el fin de ubicar el directorio correcto. **No es posible establecer un único procedimiento para la reparación del error antes mencionado pues los directorios y la ubicación de los archivos de instalación varían en cada equipo de cómputo.**

3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

MOAT© está compuesta por una ventana principal que agrupa cuatro módulos separados:

1. Información General
2. Datos de Entrada de Costos y Periodos de Tiempo
3. Módulo Inclusión de Indicadores
4. Herramientas de Análisis y Visualización

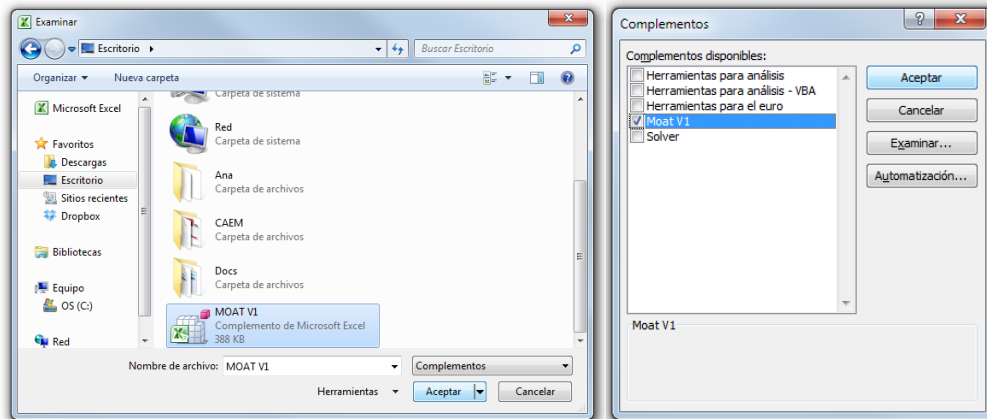
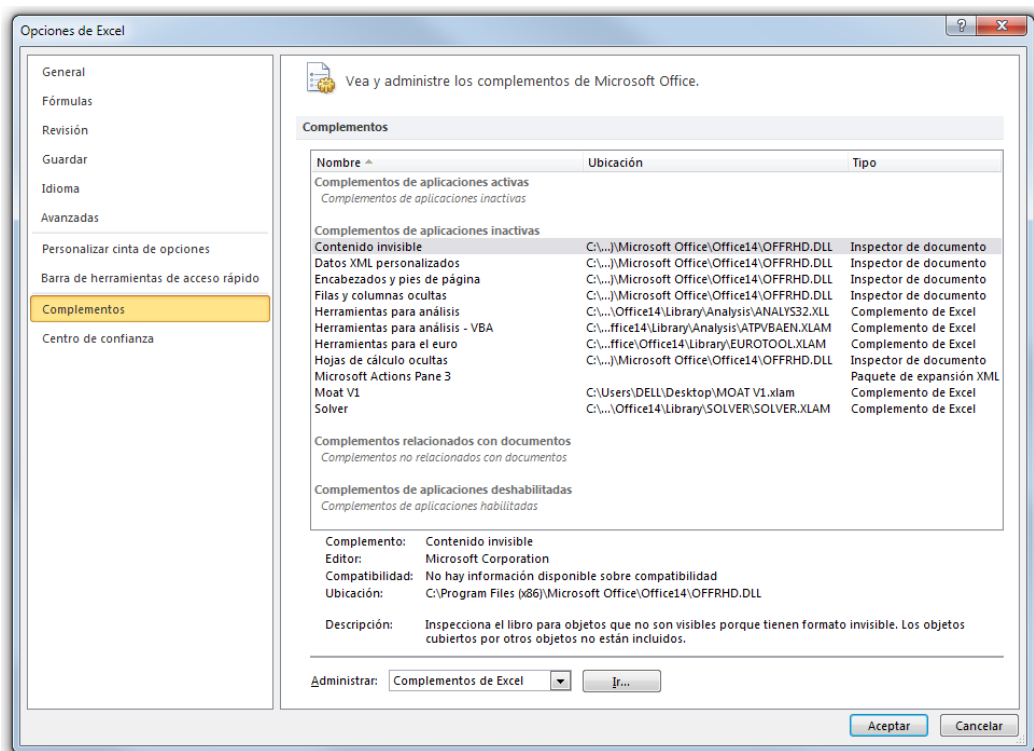
Primero se explicará cómo se configura la herramienta en Microsoft® Excel®, luego se describirá la ventana principal y cada módulo.

3.1 CONFIGURACIÓN

En Microsoft® Excel® vaya a:

Archivo/Opciones/Complementos/Administrar/Complementos de Excel/Ir. Haga click sobre “Examinar” y localice el directorio dónde se encuentra el archivo de la herramienta. Seleccione el archivo y presione “Aceptar”, luego verifique que el complemento o “Add-in” de la herramienta se encuentre habilitado, es decir, seleccionada la casilla de verificación y presione “Aceptar”.

Figura 1. Opciones de Excel® y carga del archivo de la herramienta



El procedimiento de configuración de la herramienta en Microsoft® Excel® solo se ejecuta una sola vez y es el mismo en todas las versiones de Excel® (2007, 2010 y 2013); siempre que se ejecute Excel® la herramienta estará disponible en el menú “Complementos”. Si desea quitar el botón de acceso de la barra de herramientas de Excel®, deberá ejecutar el mismo procedimiento que se realiza para cargar el archivo y en la ventana “Complementos” hacer click en la casilla de verificación “Moat V1” y luego sobre el botón de comando “Aceptar”. En la barra de herramientas de Excel®, vaya a complementos para verificar y ejecutar la herramienta.

Figura 2. Acceso a la herramienta en Excel®



3.2 VENTANA PRINCIPAL

Una vez que ingrese a la herramienta se despliega la ventana principal. El ingreso de datos y la habilitación de las herramientas de análisis y visualización en la ventana principal son secuenciales, es decir, una vez haya especificado por lo menos un dato necesario para generar tableros de costos, flujos de caja, etc., se habilitarán los botones de comando correspondientes en el módulo “Herramientas de Análisis y Visualización”.

Figura 3. Ventana principal MOAT®



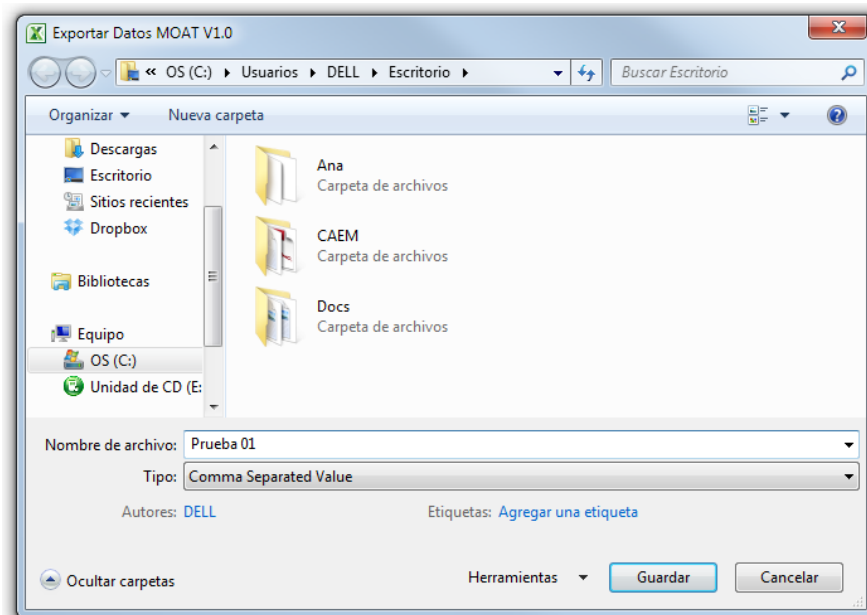
Instrucciones:

Si desea ver la ventana “Propiedad Intelectual”, presione el botón de comando “Licencia”.

Si desea ver el Manual del Usuario, presione el botón de comando “Ayuda”.

Si desea exportar un archivo en formato .csv en el cual se almacenarán todos los datos que haya ingresado presione el botón de comando “Exportar”. Inmediatamente se desplegará la ventana mostrada en la Figura 4, especifique la ubicación del archivo y presione el botón de comando “Guardar”.

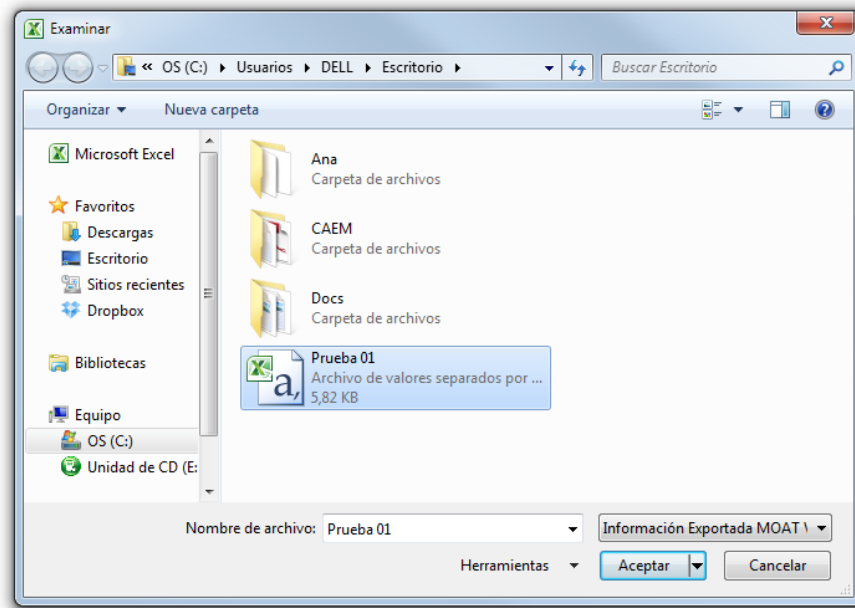
Figura 4. Ventana exportar datos



Si desea importar y/o cargar los archivos .csv que contengan los datos ingresados en oportunidades anteriores, presione el botón de comando “Importar”. Inmediatamente se desplegará la ventana mostrada en la Figura 5, busque el archivo y presione el botón de comando “Aceptar”.

La herramienta leerá los datos importados de forma automática. Al presionar cualquier botón de comando en la ventana principal se mostrarán en detalle los datos cargados, adicionalmente es posible verificar los datos al abrir los archivos .csv (Comma Separated Values).

Figura 5. Ventana importar datos



Si desea salir de la herramienta, presione el botón de comando “Salir”. En este caso se le preguntará si desea o no salir de Excel®.

3.3 MÓDULO DE INFORMACIÓN GENERAL

En este módulo se incluye la información global de la empresa y la estructura operacional de la misma (distribución de facilidades y sistemas).

Propósito:

Lo que pretende el usuario de la herramienta es organizar la información con base en la estructura organizacional y operativa de la empresa.

Esta herramienta ayuda a los usuarios, en forma lógica y secuencial, a organizar y editar gran cantidad de datos de una o varias facilidades que desee analizar para luego ser visualizados según sus necesidades.

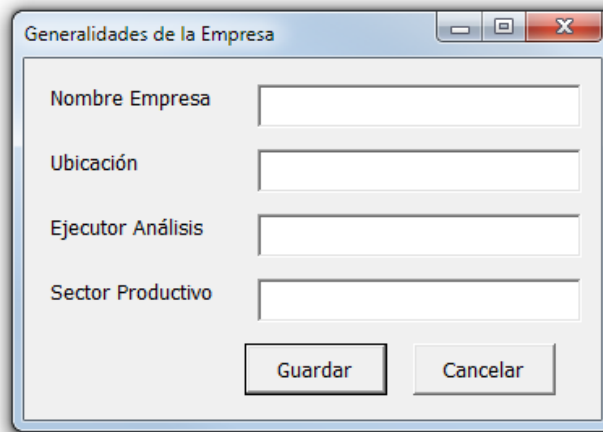
Instrucciones:

Se tienen dos opciones:

3.3.1 Generalidades de la empresa

Para comenzar con el ingreso de la información global de la empresa, presione en el botón de comando “Generalidades de la Empresa” y se desplegará la siguiente ventana:

Figura 6. Formulario de entrada de datos de información global de la empresa

The image shows a software dialog box titled "Generalidades de la Empresa". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The main area contains four text input fields, each with a label to its left: "Nombre Empresa", "Ubicación", "Ejecutor Análisis", and "Sector Productivo". At the bottom of the dialog, there are two buttons: "Guardar" (Save) and "Cancelar" (Cancel).

Ingrese los datos indicados en la forma con el fin de referenciar en qué empresa se está haciendo el análisis, dónde está localizada, a qué sector productivo pertenece y quién es el usuario de la herramienta.

Para terminar y guardar los datos, presione “Guardar”. La herramienta almacena los datos para futura referencia y regresa a la ventana principal.

Si presiona el botón de comando “Cancelar”, se regresa a la ventana principal y no se guardan los cambios.

Para editar o cambiar los datos, puede acceder a esta ventana en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.3.2 Distribución de facilidades y sistemas

Para especificar la distribución de facilidades y sistemas, presione en el botón de comando “Distribución de Facilidades y Sistemas” y se desplegará la ventana mostrada en la figura 7.

Agregue el número de facilidades según sus necesidades, luego seleccione la facilidad que desee detallar y presione el botón de comando “Editar”. En la misma ventana se desplegará la siguiente pagina/ventana mostrada en la figura 8.

Figura 7. Formulario de edición del número de facilidades

The screenshot shows a window titled "Distribución de Facilidades y Sistemas". Inside, there is a section labeled "Plantas". A list box contains one item, "Facilidad 1", which is selected with a radio button. To the right of the list are three buttons: "Agregar", "Editar", and "Eliminar". Below the list, there are two input fields: "Nombre" (containing the text "Facilidad 1") and "Comentarios" (which is empty). At the bottom right of the window is an "Aceptar" button.

Figura 8. Formulario de edición y entrada de datos de facilidades y sistemas

The screenshot shows the same window as Figure 7, but now it is split into two panes. The left pane is labeled "Plantas" and contains the "Facilidad 1" list item. The right pane is labeled "Sistemas" and contains a list item "Sistema 1". Both panes have their respective "Agregar", "Editar", and "Eliminar" buttons. The "Nombre" and "Comentarios" input fields are present in both panes. The "Nombre" field in the "Plantas" pane contains "Facilidad 1" and the "Nombre" field in the "Sistemas" pane contains "Sistema 1". A "Guardar" button is now visible in the "Plantas" pane, and an "Aceptar" button is located at the bottom center of the window.

Ingrese el nombre y cualquier comentario adicional que considere pertinente sobre la facilidad. Adicionalmente, agregue y edite los sistemas que operan en la facilidad (Nombre y comentarios).

Para terminar y guardar los datos, presione "Guardar". La herramienta almacena los datos y regresa al formulario de edición del número de facilidades. Presione "Aceptar", se guardarán los datos y regresará a la ventana principal.

Para editar o cambiar los datos, puede acceder a estas ventanas en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.4 MÓDULO DATOS DE ENTRADA DE COSTOS Y PERIODOS DE TIEMPO

En este módulo se incluye el horizonte de tiempo para el análisis, la estructura y todos los datos de costos periodo a periodo.

Propósito:

Con el fin de facilitar la inclusión de datos de costos periodo a periodo se elaboraron múltiples formularios para la inclusión de todos los datos de costos.

Con base en las estructuras de costos para periodos históricos y proyectados, el usuario debe ingresar los datos en función del horizonte de tiempo especificado.

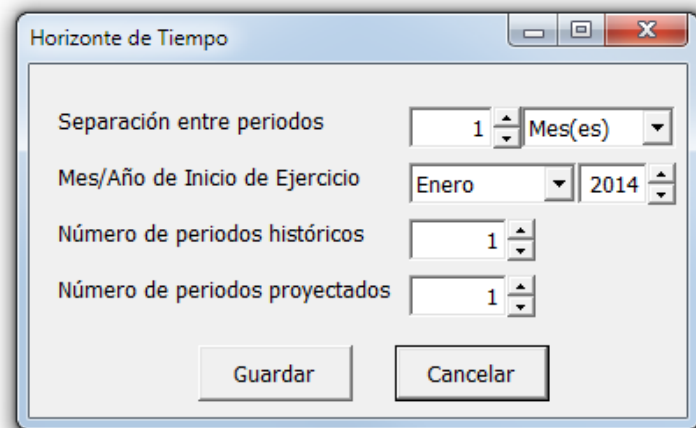
Instrucciones:

Se tienen dos opciones:

3.4.1 Horizonte de tiempo

Para especificar el horizonte de tiempo, presione en el botón de comando “Horizonte de Tiempo” y se desplegará la siguiente ventana:

Figura 9. Ventana horizonte de tiempo



The image shows a software dialog box titled "Horizonte de Tiempo". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The dialog contains the following elements:

- Separación entre periodos:** A numeric spinner box set to "1" and a dropdown menu set to "Mes(es)".
- Mes/Año de Inicio de Ejercicio:** A dropdown menu set to "Enero" and a year spinner box set to "2014".
- Número de periodos históricos:** A numeric spinner box set to "1".
- Número de periodos proyectados:** A numeric spinner box set to "1".
- Buttons:** Two buttons at the bottom, "Guardar" and "Cancelar".

1. Indique si la separación entre un periodo y otro serán meses o año.
2. Indique en que mes o año (en función de lo seleccionado anteriormente) empieza el primer periodo histórico.
3. Indique cuántos periodos históricos desea incluir en el análisis.
4. Indique cuántos periodos proyectados desea incluir en el análisis.

Para terminar y guardar los datos, presione “Guardar”, la herramienta almacena los datos y regresa a la ventana principal. Si presiona el botón de comando “Cancelar”, la herramienta no almacena los datos y regresa a la ventana principal.

Para editar las selecciones y/o datos, puede acceder a esta ventana en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.4.2 Costos de mantenimiento

Debe tener en cuenta las siguientes estructuras de costos definidas en la fase de diseño de la herramienta para los periodos históricos y proyectados, tanto al nivel de la (s) facilidad (es) como del (los) sistema (s).

Tabla 1. Estructura de costos para los periodos históricos - Nivel Facilidad

Costos directos mantenimiento
Labores HH
Repuestos
Materiales/Fungibles/Consumibles
Servicios
Costos indirectos mantenimiento
Costos del personal
<i>Nivel Gerencia</i>
<i>Nivel Supervisión</i>
<i>Nivel Planeación</i>
<i>Nivel Confiabilidad</i>
Otros/Costos Indirectos
<i>Arriendos</i>
<i>Transporte/vehículos</i>
<i>Oficinas/ equipos de cómputo/software</i>
<i>Comunicaciones</i>
<i>Salud, seguridad, calidad y medio ambiente</i>
<i>Administración, legales y servicios de seguridad</i>
Inversiones/Ingeniería
Consultoría
Proyectos
<i>Equipos: Compra/Cambio</i>
<i>Equipos: Modificación/Revamp</i>
<i>Otros</i>
Costos de no mantenimiento

Tabla 2. Estructura de costos para periodos históricos - Nivel Sistema de Producción

Costos directos mantenimiento
Labores de mantenimiento
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Predictivo</i>
<i>Paradas de Planta</i>
<i>Otras actividades</i>
Repuestos
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Paradas de Planta</i>
<i>Otras actividades</i>
Materiales/fungibles/consumibles
<i>Costos totales</i>
Servicios
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Predictivo</i>
<i>Paradas de Planta</i>
<i>Otras actividades</i>
Costos de no mantenimiento

En los periodos proyectados las estructuras de costos varían con respecto a los periodos históricos ya que no es posible conocer en detalle todos los datos de entrada para los cálculos como en el caso de los datos históricos que se extraen los sistemas de información de mantenimiento, además se debe tener en cuenta la incertidumbre asociada a las tareas de naturaleza reactiva, es decir, no es correcto afirmar que los costos directos en los periodos proyectados (labores de mantenimiento, repuestos, materiales/fungibles/consumibles y servicios) al nivel de la facilidad resultan de sumar todos estos costos al nivel de los sistemas periodo a periodo.

Las herramientas matemáticas e informáticas que permiten evaluar estadísticamente el comportamiento de las facilidades y sistemas, y realizar proyecciones de costos e indicadores de desempeño clasifican las tareas en correctivas, preventivas y predictivas (inspecciones).

En el caso de los periodos proyectados, debe incluir los costos detallados y estos se llevan totalizados al nivel de la facilidad y sistemas con el fin de incluirlos en el (los) flujo (s) de caja. A continuación se muestran las estructuras de costos que aplica en estos casos:

Tabla 3. Estructura de costos para los periodos proyectados - Nivel Facilidad

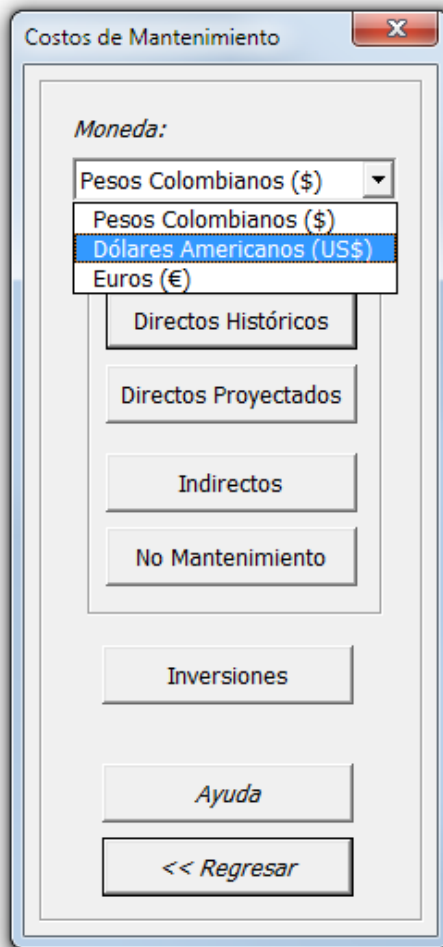
Costos directos mantenimiento
Labores HH
Repuestos
Materiales/Fungibles/Consumibles
Costos indirectos mantenimiento
Costos del personal
<i>Igual que en periodos históricos</i>
Otros/Costos Indirectos
<i>Igual que en periodos históricos</i>
Inversiones/Ingeniería
Consultoría
Proyectos
<i>Igual que en periodos históricos</i>
Costos de no mantenimiento

Tabla 4. Estructura de costos para periodos proyectados - Nivel Sistema de Producción

Costos directos mantenimiento
Labores de mantenimiento
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
<i>Predictivo</i>
Repuestos
<i>Correctivo</i>
<i>Preventivo</i>
Materiales/fungibles/consumibles
<i>Costos totales</i>
Servicios
<i>Costos totales</i>
Costos de no mantenimiento

Para comenzar con el ingreso de los datos de costos, presione en el botón de comando “Costos de Mantenimiento” y se desplegará la siguiente ventana:

Figura 10. Ventana costos de mantenimiento



Si presiona el botón de comando “Ayuda”, se muestra el manual del usuario.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar” se despliega la venta principal.

Primero indique la moneda que desea utilizar en el análisis. Luego dispone de cuatro opciones para la inclusión de costos y una para la inclusión de las inversiones:

3.4.2.1 Costos directos periodos históricos

Una vez que presione el botón de comando “Directos Históricos”, en la misma ventana “Costos de Mantenimiento” se desplegará la pagina/ventana mostrada en la figura 11.

Si presiona el botón de comando “Costos Hora Hombre”, en la misma ventana se desplegará la pagina/ventana mostrada en la figura 12.

Figura 11. Ventana costos directos periodos históricos

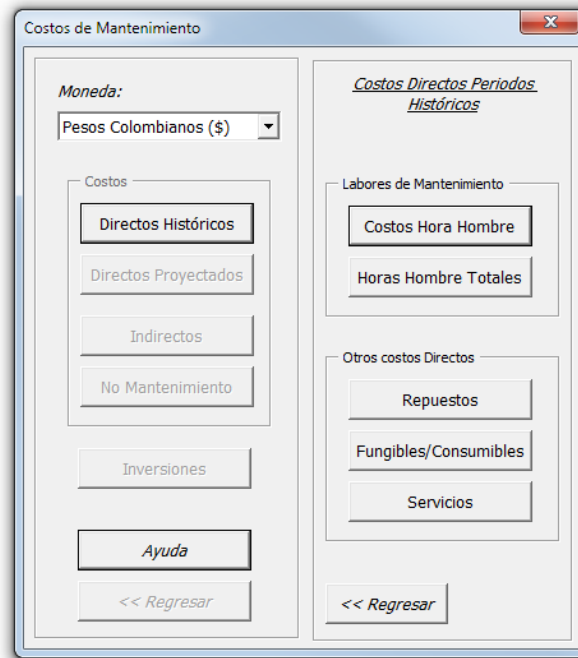
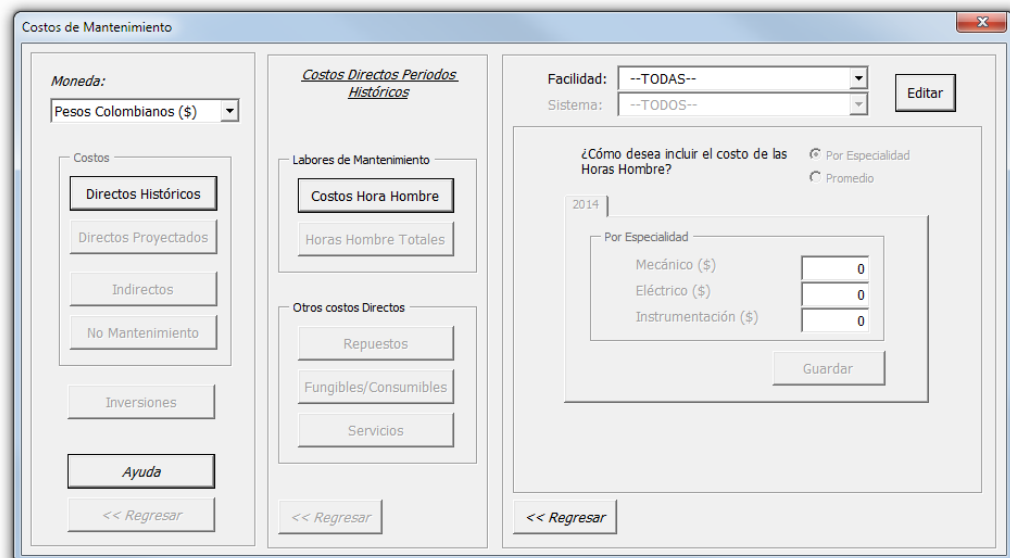


Figura 12. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Costo Hora Hombre



Si desea especificar los mismos costos de las horas hombre para todas las facilidades, seleccione “Todas” y presione el botón de comando “Editar”. Luego indique si desea ingresar los costos por especialidad (mecánico, eléctrico e instrumentación) o un costo unitario promedio. Finalmente ingrese los datos para cada periodo histórico de acuerdo con la configuración del horizonte de tiempo y presione el botón de comando “Guardar”.

Si desea especificar los costos de las horas hombre por facilidad, seleccione en la lista cada una de las facilidades y en todos los casos presione el botón de comando “Editar”. Luego indique si desea ingresar los costos por especialidad (mecánico, eléctrico e instrumentación) o un costo unitario promedio. Finalmente ingrese los datos para cada periodo histórico de acuerdo con la configuración del horizonte de tiempo y presione el botón de comando “Guardar”.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana “Costos Directos Periodos Históricos” y se guardan los datos que haya ingresado.

Para editar o cambiar los datos, puede acceder a esta ventana en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

Si presiona el botón de comando “Horas Hombre Totales”, en la misma ventana se desplegará la pagina/ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 13. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Horas Hombre Totales

The screenshot shows a software window titled "Costos de Mantenimiento". It is divided into several sections:

- Moneda:** A dropdown menu set to "Pesos Colombianos (\$)".
- Costos:** A vertical stack of buttons: "Directos Históricos" (highlighted), "Directos Proyectados", "Indirectos", "No Mantenimiento", "Inversiones", "Ayuda", and "<< Regresar".
- Costos Directos Periodos Históricos:** A sub-section with buttons for "Costos Hora Hombre" and "Horas Hombre Totales" (highlighted), and a "<< Regresar" button at the bottom.
- Otros costos Directos:** A sub-section with buttons for "Repuestos", "Fungibles/Consumibles", "Servicios", and a "<< Regresar" button at the bottom.
- Facilidad:** A dropdown menu and a "Sistema:" dropdown menu, with an "Editar" button to the right.
- ¿Cómo desea incluir la relación de las Horas Hombre Totales?:** Radio buttons for "Por Especialidad" (selected) and "Totales".
- 2014:** A table with two sections:
 - Correctivo (Horas):** Mecánico (0), Eléctrico (0), Instrumentación (0).
 - Preventivo (Horas):** Mecánico (0), Eléctrico (0), Instrumentación (0).
- << Regresar:** A button at the bottom left of the table area.

Debe ingresar el número de horas hombre totales para cada sistema en función de cómo haya ingresado el costo de la hombre. Si es costo por especialidad, se le pedirá que

ingrese las horas hombre totales del periodo por cada especialidad y si es costo unitario promedio, se le pedirá que ingrese el número de horas hombre totales del periodo.

Lo que hace la herramienta es multiplicar el costo unitario de la hora hombre por el número de horas hombre totales con el fin de calcular los costos de ejecución de mantenimiento para cada periodo histórico, luego estos datos son totalizados al nivel de la (s) facilidad (es) sumando los costos sistema a sistema.

Primero escoja en las listas en cual facilidad desea trabajar y luego en qué sistema. Luego ingrese los datos para cada periodo histórico de acuerdo con la configuración del horizonte de tiempo y presione el botón de comando “Guardar”.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana “Costos Directos Periodos Históricos” y se guardan los datos que haya ingresado.

Para editar o cambiar los datos, puede acceder a esta ventana en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

Si presiona el botón de comando “Repuestos”, en la misma ventana se desplegará la pagina/ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 14. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Repuestos

The screenshot displays the 'Costos de Mantenimiento' application window. On the left, there is a 'Moneda' dropdown menu set to 'Pesos Colombianos (\$)'. Below it, a 'Costos' section contains buttons for 'Directos Históricos', 'Directos Proyectados', 'Indirectos', 'No Mantenimiento', 'Inversiones', 'Ayuda', and '<< Regresar'. The central area is titled 'Costos Directos Periodos Históricos' and includes 'Labores de Mantenimiento' (Costos Hora Hombre, Horas Hombre Totales) and 'Otros costos Directos' (Repuestos, Fungibles/Consumibles, Servicios) buttons, along with another '<< Regresar' button. On the right, there are 'Facilidad' and 'Sistema' dropdown menus, an 'Editar' button, and a sub-window for the year 2014. This sub-window shows 'Costo Total Repuestos' with four input fields: 'Correctivo (M\$)', 'Preventivo (M\$)', 'Paradas de Planta (M\$)', and 'Otras Actividades (M\$)', all containing the value '0'. A 'Guardar' button is located at the bottom of this sub-window. A third '<< Regresar' button is at the bottom of the main window.

En función de la moneda escogida se le pedirá que ingrese los datos en miles o millones de unidades (los prefijos M y k se refieren a millones y miles específicamente). Si escoge pesos colombianos, se le pedirá que ingrese los datos en millones (M\$). Si escoge dólares americanos o euros, se le pedirá que ingrese los datos en miles (kUS\$ o k€).

Primero escoja en las listas en cual facilidad desea trabajar y luego en qué sistema. Luego ingrese los datos para cada periodo histórico de acuerdo con la configuración del horizonte de tiempo y presione el botón de comando “Guardar”.

Este mismo procedimiento aplica para “Fungibles/Consumibles” y “Servicios”:

Figura 15. Ventana Costos Directos Periodos Históricos: Fungibles/Consumibles

The screenshot shows a software window titled "Costos de Mantenimiento". It is divided into three main columns. The left column contains a "Moneda:" dropdown menu set to "Pesos Colombianos (\$)". Below it are several buttons: "Directos Históricos", "Directos Proyectados", "Indirectos", "No Mantenimiento", "Inversiones", "Ayuda", and "<< Regresar". The middle column is titled "Costos Directos Periodos Históricos" and contains two sub-sections: "Labores de Mantenimiento" with buttons for "Costos Hora Hombre" and "Horas Hombre Totales"; and "Otros costos Directos" with buttons for "Repuestos", "Fungibles/Consumibles", and "Servicios". The right column has "Facilidad:" and "Sistema:" dropdown menus, an "Editar" button, and a large input area for "Costo Total M/F/C" with a sub-label "Materiales/Fungibles/Consumibles (M\$)" and a value of "0". A "Guardar" button is located below the input area. At the bottom right, there is a "<< Regresar" button.

En todos los casos, si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana “Costos Directos Periodos Históricos”.

Para editar o cambiar los datos, puede acceder a estas ventanas en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.4.2.2 Costos directos periodos proyectados

Una vez que presione el botón de comando “Directos Proyectados”, en la misma ventana “Costos de Mantenimiento” se desplegará la pagina/ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 16. Ventana costos directos periodos proyectados

The screenshot shows a software window titled "Costos de Mantenimiento". On the left, there is a sidebar with a "Moneda:" dropdown menu set to "Pesos Colombianos (\$)". Below it are buttons for "Directos Históricos", "Directos Proyectados" (which is highlighted), "Indirectos", "No Mantenimiento", "Inversiones", "Ayuda", and "<< Regresar". The main area is titled "Costos Directos Periodos Proyectados" and contains dropdowns for "Facilidad:" and "Sistema:", each with an "Editar" button. Below these is a year selector set to "2015". The main data entry area is divided into sections: "Labores de Mantenimiento" with fields for "Correctivo (M\$)", "Preventivo (M\$)", and "Predictivo (M\$)", all with "0" in the input boxes; "Repuestos" with fields for "Correctivo (M\$)" and "Preventivo (M\$)", also with "0"; "Fungibles/Consumibles (M\$)" with "0"; and "Servicios (M\$)" with "0". A "Guardar" button is located at the bottom right of the main area. A "<< Regresar" button is at the bottom left of the main area.

En este caso NO debe ingresar el número de horas hombre totales para cada sistema en función de cómo haya ingresado el costo de la hombre ni tampoco las horas hombre totales del periodo por cada especialidad o totales.

Dado que no es posible conocer en detalle todos los datos de entrada para los cálculos como en el caso de los datos históricos que se extraen los sistemas de información de mantenimiento, no es correcto afirmar que los costos directos en los periodos proyectados (labores de mantenimiento, repuestos, materiales/fungibles/consumibles y servicios) al nivel de la facilidad resultan de sumar todos estos costos al nivel de los sistemas periodo a periodo. Es decir que se deben ingresar los datos totalizados tanto para la (s) facilidad (es) como para el (los) sistema (s).

En función de la moneda escogida se le pedirá que ingrese los datos en miles o millones de unidades (los prefijos M y k se refieren a millones y miles específicamente). Si escoge pesos colombianos, se le pedirá que ingrese los datos en millones (M\$). Si escoge dólares americanos o euros, se le pedirá que ingrese los datos en miles (kUS\$ o k€).

Primero escoja en las listas en cual facilidad desea trabajar y luego en qué sistema. Luego ingrese los datos para cada periodo proyectado de acuerdo con la configuración del horizonte de tiempo y presione el botón de comando "Guardar".

En todos los casos, si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana “Costos de Mantenimiento”.

Para editar o cambiar los datos, puede acceder a estas ventanas en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.4.2.3 Costos indirectos

Si presiona el botón de comando “Indirectos”, en la misma ventana se desplegará la pagina/ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 17. Ventana Costos Indirectos

The screenshot shows a software window titled "Costos de Mantenimiento". On the left side, there is a "Moneda:" dropdown menu set to "Pesos Colombianos (\$)". Below it, a "Costos" section contains buttons for "Directos Históricos", "Directos Proyectados", "Indirectos" (which is highlighted), and "No Mantenimiento". Further down are buttons for "Inversiones", "Ayuda", and "<< Regresar". The main area of the window is titled "Costos Indirectos" and contains a "Facilidad:" dropdown menu with an "Editar" button. Below this, there are year selectors for "2014" and "2015". A table with two columns, "Costos de Personal" and "Otros Costos Indirectos", is displayed. The "Costos de Personal" column has four rows: "Nivel Gerencia (M\$)", "Nivel Supervisión (M\$)", "Nivel Planeación (M\$)", and "Nivel Confiabilidad (M\$)". Each row has a checkbox and a value field set to "0". A "Guardar" button is located below the table. The "Otros Costos Indirectos" column has a text area labeled "Otros" and "Agregar" and "Editar" buttons. A "<< Regresar" button is at the bottom left of the sub-window.

1. Indique en qué facilidad desea trabajar y presione el botón de comando “Editar”.
2. En función de la moneda escogida se le pedirá que ingrese los datos en miles o millones de unidades (los prefijos M y k se refieren a millones y miles específicamente). Si escoge pesos colombianos, se le pedirá que ingrese los datos en millones (M\$). Si escoge dólares americanos o euros, se le pedirá que ingrese los datos en miles (kUS\$ o k€).
3. Especifique la estructura de costos a incluir. Aparecen niveles por defecto, sin embargo puede agregar y editar los que considere (tanto para Costos de Personal como para Otros Costos Indirectos).

- 3.1. Si desea agregar “Otros”, presione el botón de comando “Agregar”, luego “Editar”. Especifique el rotulo y el valor total para el periodo especifico y presione el botón de comando “Guardar”.

Para terminar y guardar los datos, presione “Guardar”, la herramienta almacena los datos y le permite editar los datos de otros periodos.

Tenga en cuenta que la estructura definida para el primer periodo, será la misma para los periodos restantes.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana “Costos de Mantenimiento”. Para editar las selecciones y/o datos, puede acceder a esta ventana en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.4.2.4 Costos de no mantenimiento

Si presiona el botón de comando “No Mantenimiento”, en la misma ventana se desplegará la pagina/ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 18. Ventana Costos de No Mantenimiento

The screenshot shows a software window titled "Costos de Mantenimiento". On the left side, there is a "Moneda:" dropdown menu set to "Pesos Colombianos (\$)". Below it is a "Costos" section with several buttons: "Directos Históricos", "Directos Proyectados", "Indirectos", "No Mantenimiento" (which is highlighted with a black border), "Inversiones", "Ayuda", and "<< Regresar". The main area of the window is titled "Costos de No Mantenimiento" and contains two dropdown menus for "Facilidad:" and "Sistema:", each with an "Editar" button. Below these are two year tabs, "2014" and "2015", with "2015" selected. A box titled "Costos de No Mantenimiento" contains a label "Costo Total de Lucro Cesante (M\$)" and a text input field with the value "0". A "Guardar" button is located below this box. At the bottom left of the main area, there is another "<< Regresar" button.

Estos costos se deben ingresar los datos totalizados tanto para la (s) facilidad (es) como para el (los) sistema (s).

En función de la moneda escogida se le pedirá que ingrese los datos en miles o millones de unidades (los prefijos M y k se refieren a millones y miles específicamente). Si escoge pesos colombianos, se le pedirá que ingrese los datos en millones (M\$). Si escoge dólares americanos o euros, se le pedirá que ingrese los datos en miles (kUS\$ o k€).

Primero escoja en las listas en cual facilidad desea trabajar y luego en qué sistema. Luego ingrese los datos para cada periodo proyectado de acuerdo con la configuración del horizonte de tiempo y presione el botón de comando “Guardar”.

En todos los casos, si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana “Costos de Mantenimiento”.

Para editar o cambiar los datos, puede acceder a estas ventanas en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.4.2.5 Inversiones

Si presiona el botón de comando “Inversiones”, en la misma ventana se desplegará la pagina/ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 19. Ventana Inversiones

The screenshot shows a software window titled "Costos de Mantenimiento". On the left side, there is a "Moneda:" dropdown menu set to "Pesos Colombianos (\$)". Below it are several buttons: "Directos Históricos", "Directos Proyectados", "Indirectos", "No Mantenimiento", "Inversiones", "Ayuda", and "<< Regresar". The main area of the window is titled "Inversiones" and contains a "Facilidad:" dropdown menu with an "Editar" button. Below this are two columns for the years "2014" and "2015". Under "2014", there are three rows of data: "Consultoría (M\$)" with a value of "0", "Equipos: Compra/Cambio (M\$)" with a value of "0", and "Equipos: Modificación/Revamp (M\$)" with a value of "0". There is a "Guardar" button to the right of these rows. Below the table is an "Otros" section with a text input field and three buttons: "Agregar", "Editar", and "Eliminar". At the bottom of the "Inversiones" section is a "Descripción" input field and a "<< Regresar" button.

1. Indique en qué facilidad desea trabajar y presione el botón de comando “Editar”.
2. En función de la moneda escogida se le pedirá que ingrese los datos en miles o millones de unidades (los prefijos M y k se refieren a millones y miles específicamente). Si escoge pesos colombianos, se le pedirá que ingrese los datos en millones (M\$). Si escoge dólares americanos o euros, se le pedirá que ingrese los datos en miles (kUS\$ o k€).
3. Especifique la estructura de las inversiones a incluir. Aparecen niveles por defecto, sin embargo puede agregar y editar los que considere.
 - 3.1. Si desea agregar “Otros”, presione el botón de comando “Agregar”, luego “Editar”. Especifique el rotulo y el valor total para el periodo específico y presione el botón de comando “Guardar”.

Para terminar y guardar los datos, presione “Guardar”, la herramienta almacena los datos y le permite editar los datos de otros periodos.

Tenga en cuenta que la estructura definida para el primer periodo, será la misma para los periodos restantes.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana “Costos de Mantenimiento”. Para editar las selecciones y/o datos, puede acceder a esta ventana en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.5 MÓDULO DE INCLUSIÓN DE INDICADORES

En este módulo se incluye la información los indicadores de mantenimiento periodo a periodo tanto al nivel de la (s) facilidad (es) como sistema (s).

Propósito:

Con el fin de analizar la variación de los indicadores de mantenimiento periodo a periodo y hacer análisis comparativo (benchmarking) el usuario debe ingresar datos.

Instrucciones:

En una única ventana se deben incluir los datos para la (s) facilidad (es) y el (los) sistema (s). Si ingresa la disponibilidad en horas, se calculará de forma automática el valor porcentual en función del número de horas totales del periodo o si ingresa la disponibilidad en porcentaje, se calculará el número de horas totales. El cálculo de la eficiencia global de equipos también es automático. Es exactamente igual para los sistemas (para los sistemas no se calcula la eficiencia global de equipos).

Figura 20. Ventana inclusión de indicadores - Nivel Facilidad

Indicadores de Mantenimiento

Indicadores de Mantenimiento

Facilidad:

Sistema:

2014 | 2015 |

Disponibilidad (A) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Disponibilidad (A) - %	<input type="text" value="0"/>
Confiabilidad (R) - %	<input type="text" value="0"/>
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Rendimiento de la producción - %	<input type="text" value="0"/>
Factor de calidad - %	<input type="text" value="0"/>
Eficiencia global de equipos (OEE) - %	<input type="text" value="0"/>

Figura 21. Ventana inclusión de indicadores - Nivel Sistemas

Indicadores de Mantenimiento

Indicadores de Mantenimiento

Facilidad:

Sistema:

2014 | 2015 |

Disponibilidad (A) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Disponibilidad (A) - %	<input type="text" value="0"/>
Confiabilidad (R) - %	<input type="text" value="0"/>
Tiempo medio entre fallas (MTBF) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo medio para falla (MTTF) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo medio para reparar (MTTR) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo disponible (Uptime) - Horas	<input type="text" value="0"/>
Tiempo no disponible (Downtime) - Horas	<input type="text" value="0"/>

Para guardar los datos, presione “Guardar”, la herramienta almacena los datos y le permite editar los datos de otros periodos.

En todos los casos, si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana principal. Para editar o cambiar los datos, puede acceder a estas ventanas en cualquier momento y hacer las modificaciones que considere.

3.5 MÓDULO HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN

En este módulo se incluyen todas las herramientas para el análisis y visualización gráfica de los datos ingresados por el usuario periodo a periodo.

Propósito:

Con el fin de analizar gráficamente los resultados y la evolución de los costos, indicadores y demás herramientas de análisis incluidas en la herramienta, se dispuso de un módulo con el fin de suplir dicha necesidad.

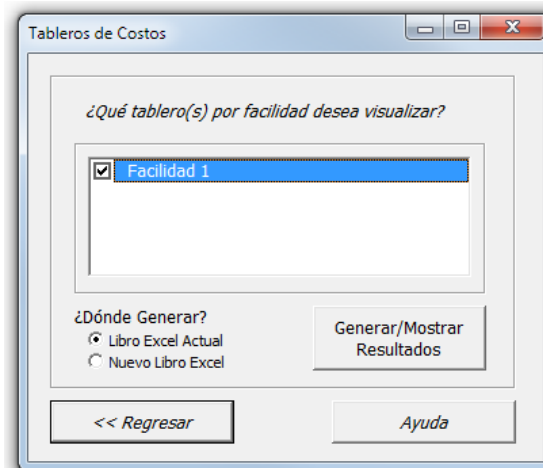
Instrucciones:

En el módulo de herramientas de análisis y visualización cada una de las posibilidades tiene asociado un botón de comando cuyas funciones se describen a continuación.

3.5.1 Tableros de costos

Si presiona el botón de comando “Tableros de Costos”, se desplegará la ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 22. Ventana Tableros de Costos



1. Indique de qué facilidad (es) desea visualizar el (los) tablero (s) de costos.
2. Seleccione si desea que se genere en un libro nuevo o en el que está abierto.
3. Presione el botón de comando “Generar/Mostrar Resultados”.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana principal.

Si presiona el botón de comando “Ayuda”, se muestra el manual del usuario.

Figura 23. Ejemplo visualización de un Tablero de Costos

Menú herramientas de análisis y visualización y, ventana principal.

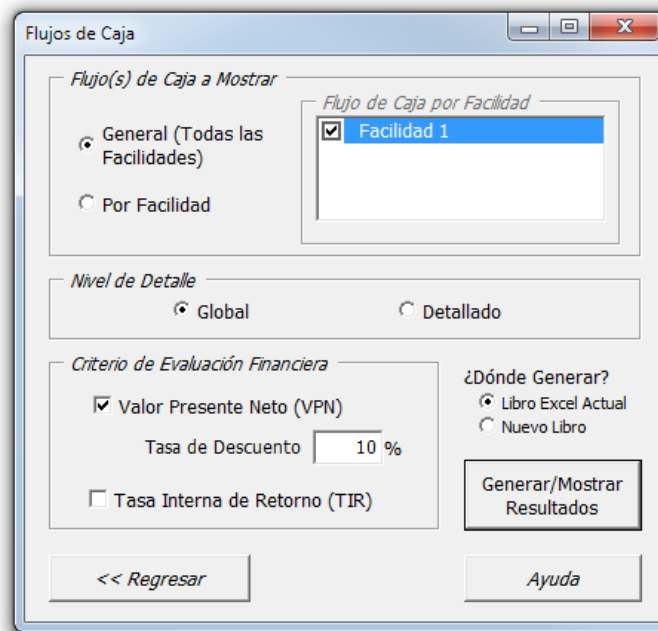
	HISTÓRICOS		PROYECTADOS	
	2014		2015	
Facilidad 1				
Costos directos mantenimiento				
Labores HH	M\$ 0,00	0,00%	M\$ 0,00	0,00%
Repuestos	M\$ 0,00	0,00%	M\$ 0,00	0,00%
Materiales/Fungibles/Consumibles	M\$ 0,00	0,00%	M\$ 0,00	0,00%
Servicios	M\$ 0,00	0,00%	M\$ 0,00	0,00%
Total costos directos	M\$ 0,00		M\$ 0,00	
Variación/Costos Directos	-		M\$ 0,00	
Costos indirectos mantenimiento				
Costos administrativos/personal	M\$ 0,00	0,00%	M\$ 0,00	0,00%
Otros/Costos Indirectos	M\$ 0,00	0,00%	M\$ 0,00	0,00%
Total costos indirectos	M\$ 0,00		M\$ 0,00	
Variación/Costos Indirectos	-		M\$ 0,00	
Inversiones/Ingeniería				
Otros	M\$ 0,00	0,00%	M\$ 0,00	0,00%
Inversiones totales	M\$ 0,00		M\$ 0,00	
Variación/Inversiones	-		M\$ 0,00	

Cuando esté visualizando cualquier tablero de costos se habilita un menú de comandos que le permite moverse de una a otra gráfica o regresar al menú principal como se señala en la figura anterior.

3.5.2 Flujos de caja

Si presiona el botón de comando “Flujos de Caja”, se desplegará la ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 24. Ventana Flujos de Caja

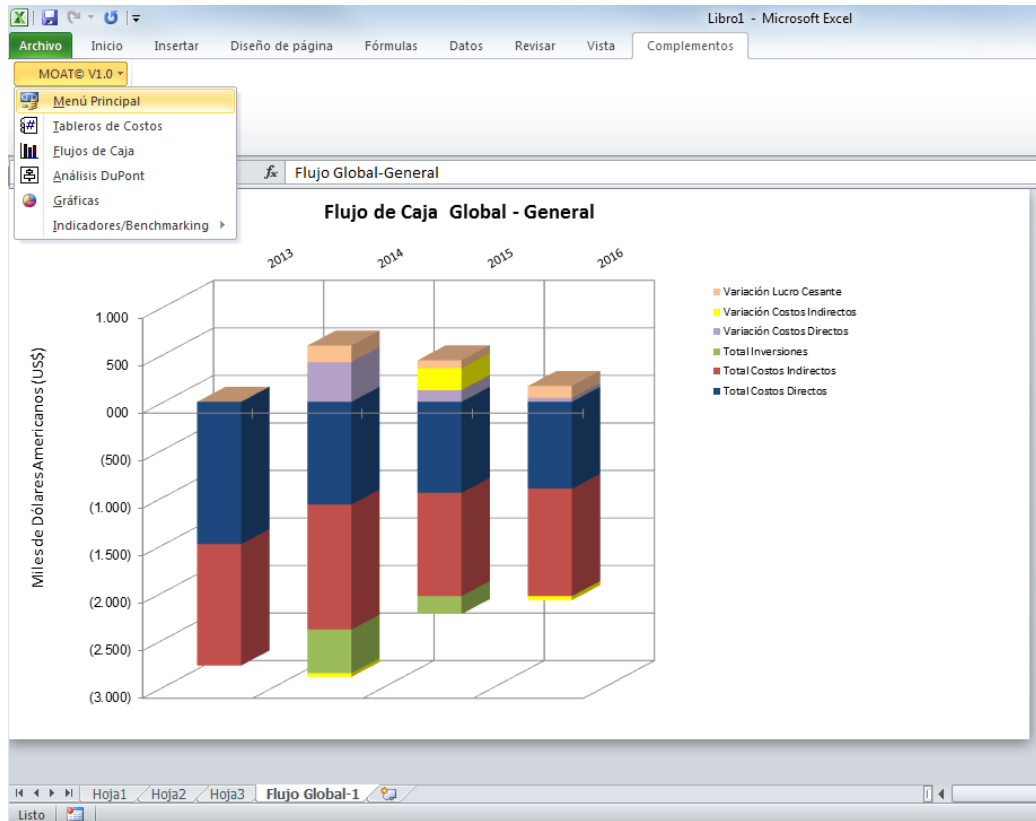


1. Indique si desea genera un flujo de caja por facilidad o si desea ver un único flujo que incluya los resultados de todas las facilidades.
2. Indique si desea generar flujos de caja Globales o Detallados.
3. Seleccione si desea que se genere en un libro nuevo o en el que está abierto.
4. Seleccione el (los) criterio (s) de evaluación financiera a analizar.
5. Presione el botón de comando “Generar/Mostrar Resultados”.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana principal.

Si presiona el botón de comando “Ayuda”, se muestra el manual del usuario.

Figura 25. Ejemplo visualización de un Flujo de Caja



Cuando esté visualizando el (los) flujo (s) de caja se habilita un menú de comandos que le permite moverse de una a otra gráfica o regresar al menú principal.

3.5.3 Análisis DuPont

Si presiona el botón de comando “Análisis DuPont”, se desplegará la ventana mostrada en la figura 26:

1. Indique para que periodo (s) desea ejecutar el análisis.
2. Seleccione si desea que se genere en un libro nuevo o en el que está abierto.
3. Presione el botón de comando “Generar/Mostrar Resultados”.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana principal.

Si presiona el botón de comando “Ayuda”, se muestra el manual del usuario.

Tenga en cuenta que este análisis solo aplica para periodos mayores o iguales a un año fiscal ya que los datos necesarios son extraídos del estado general de resultados que se elabora cada año.

Figura 26. Ventana Análisis DuPont

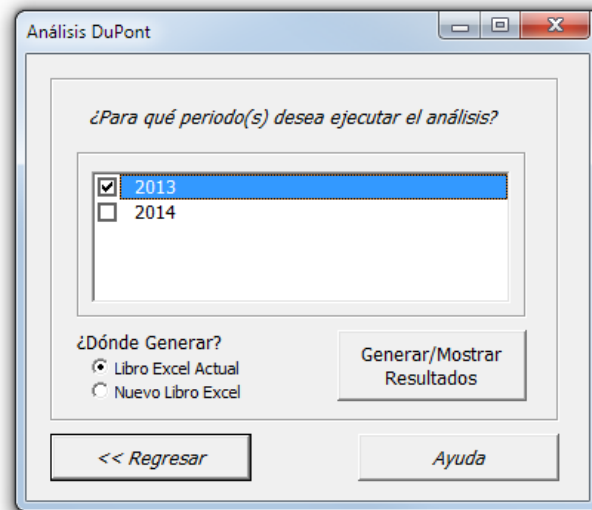
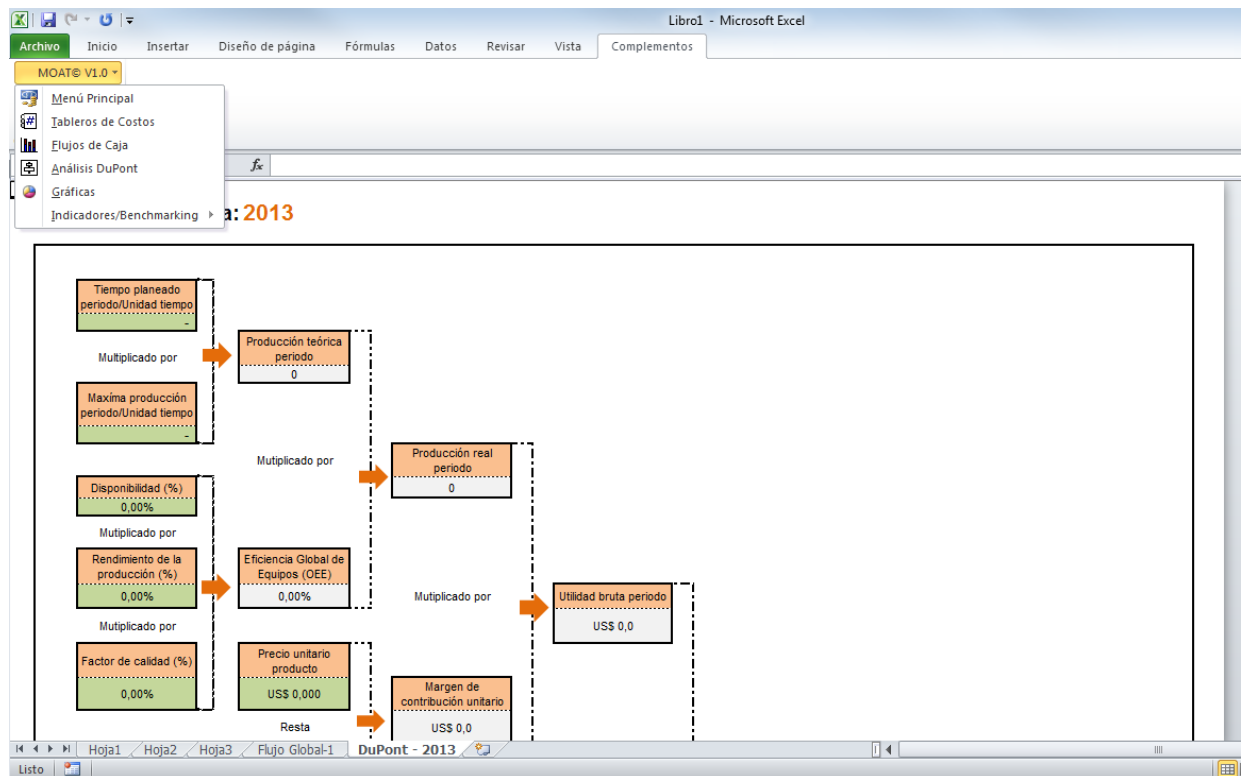


Figura 27. Ejemplo visualización del diagrama de Análisis DuPont

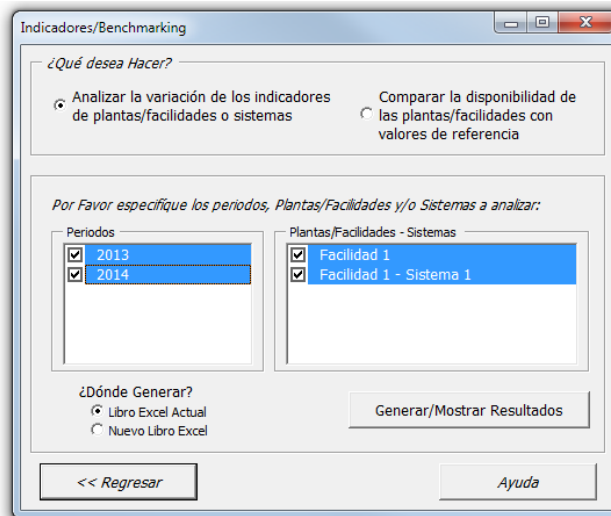


Cuando esté visualizando el diagrama de análisis DuPont se habilita un menú de comandos que le permite moverse de una a otra gráfica o regresar al menú principal.

3.5.4 Indicadores/Benchmarking

Si presiona el botón de comando “Indicadores/Benchmarking”, se desplegará la ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 28. Ventana Indicadores/Benchmarking



1. Indique si desea analizar la variación de los indicadores o si desea comparar la disponibilidad con valores de referencia.
2. Indique para qué periodos desea visualizar los resultados.
3. Si va a analizar la variación de los indicadores, debe también especificar si solo lo desea hacer al nivel de la facilidad o si además desea ver algún (os) sistema (s) de la facilidad seleccionada.
4. Seleccione si desea que se genere en un libro nuevo o en el que está abierto.
5. Presione el botón de comando “Generar/Mostrar Resultados”.

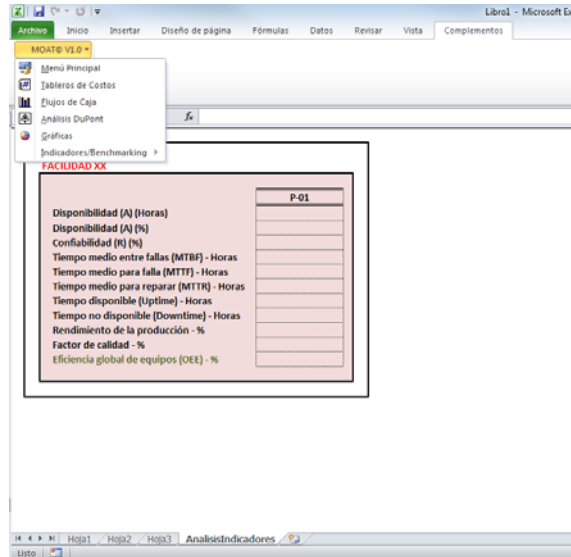
Si está ejecutando Benchmarking y presiona el botón de comando “Mostrar Indicadores Benchmarking”, se despliega una tabla donde se detallan un listado de indicadores para ser comparados con los resultados propios.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana principal.

Si presiona el botón de comando “Ayuda”, se muestra el manual del usuario.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar” en la hoja donde se estén visualizando los resultados, se regresa a la ventana “Indicadores/Benchmarking”.

Figura 29. Ejemplo visualización Análisis de Indicadores

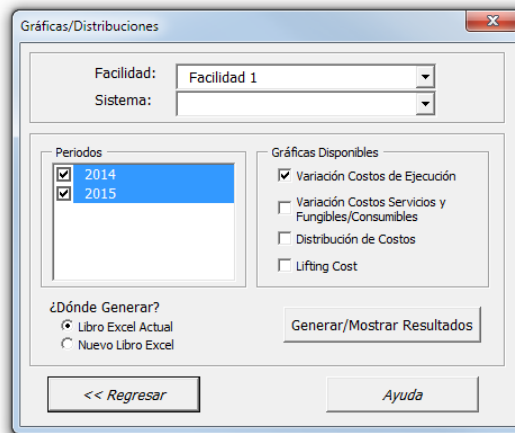


Cuando esté analizando los indicadores o haciendo benchmarking se habilita un menú de comandos que le permite moverse de una a otra gráfica o regresar al menú principal, así como abrir la tabla de indicadores para benchmarking detallada.

3.5.4 Gráficas/Distribuciones

Si presiona el botón de comando “Gráficas/Distribuciones”, se desplegará la ventana mostrada en la siguiente figura:

Figura 30. Ventana Gráficas/Distribuciones



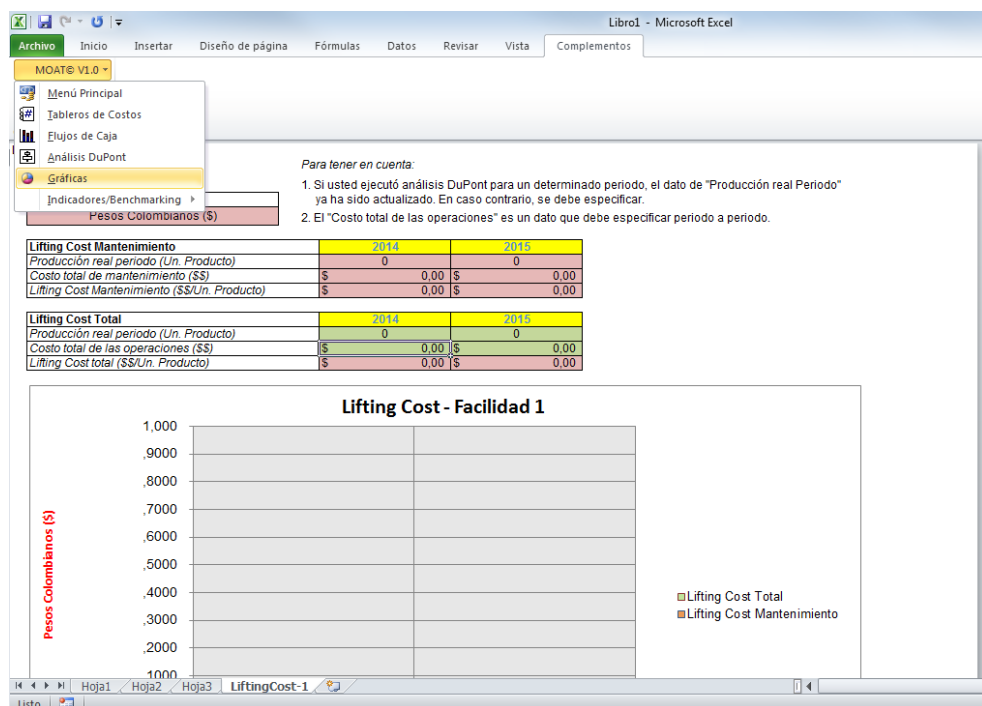
1. Indique si desea visualizar gráficas al nivel de la (s) facilidad (es) o del (los) sistema (s).
2. Indique para qué periodos desea visualizar los resultados.
3. Indique qué tipo de gráfica desea visualizar.
4. Seleccione si desea que se genere en un libro nuevo o en el que está abierto.
5. Presione el botón de comando “Generar/Mostrar Resultados”.

Si presiona el botón de comando “<< Regresar”, se regresa a la ventana principal.

Si presiona el botón de comando “Ayuda”, se muestra el manual del usuario.

Cuando esté visualizando cualquier gráfica se habilita un menú de comandos que le permite moverse de una a otra gráfica o regresar al menú principal.

Figura 31. Ejemplo visualización Gráfica Lifting Cost



1. DESCRIPCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Las macros de Excel® 2010 se escriben en Microsoft® Visual Basic® para Aplicaciones (VBA, por sus siglas en inglés) versión 7.0, este es un lenguaje de programación desarrollado por Microsoft® el cual es común para todas las aplicaciones incluidas en los paquetes de Microsoft® Office® (Access®, Excel®, Outlook®, PowerPoint® y Word®). En otras palabras, VBA es la herramienta usada para desarrollar programas que controlan Excel®.

VBA es un lenguaje bastante versátil en lo concerniente a la programación de interfaces gráficas para análisis de datos y la ejecución de tareas de cálculo repetitivas. Su programación y uso es bastante sencilla, además como es un lenguaje de programación desarrollado dentro de las aplicaciones de Windows®, permite relacionar datos y/o objetos entre ellas por ejemplo, datos numéricos de Excel® con objetos gráficos de PowerPoint®.

El editor de Microsoft® Visual Basic® (disponible en un módulo incluido dentro del paquete de instalación de Microsoft® Excel® 2010) permite crear, mediante la utilización de la programación orientada a objetos, secuencias de operación propias las cuales se ejecutan y manipulan de forma independiente en Excel®; las antes mencionadas secuencias de operación constituyen un programa, un programa es, en principio, un conjunto de instrucciones que el software ejecuta en un orden específico.

La programación orientada a objetos se basa en la idea de que el software está conformado por diferentes objetos los cuales tienen atributos (o propiedades) y estos (los objetos), pueden ser manipulados.

Otra definición establece que en los lenguajes de programación orientada a objetos, todos los aspectos del código informático se basan en los elementos del entorno. Esos "elementos" se representan como objetos, y todas las acciones y todos los datos están encapsulados en dichos objetos. En Excel® los objetos son, entre otros: libros, hojas de cálculo, rangos de celdas o archivos externos. Para entender con mayor claridad cómo funciona y qué es Microsoft® Visual Basic®, a continuación se resumen algunos conceptos básicos¹:

Código: se ejecutan acciones mediante la compilación de código en VBA. El código se escribe (o graba) en un módulo.

Módulo: los módulos en VBA están contenidos en un libro de Excel®, pero se visualizan o editan en el editor de Visual Basic®. Un módulo de VBA está compuesto por procedimientos.

Procedimientos: un procedimiento es básicamente una unidad de código que ejecuta una acción determinada. En VBA se trabajan dos tipos de procedimientos: procedimientos Sub y Funciones.

- ✓ *Sub:* los procedimientos tipo Sub son una serie de declaraciones o código computacional que ejecutan una acción sobre o con objetos (definidos a continuación).

- ✓ *Funciones:* un procedimiento *tipo* función devuelve un único valor.

Objetos: VBA manipula objetos contenidos en una aplicación global (en este caso, Excel® es la aplicación *global*).

¹WALKENBACH, John. Excel® 2010 Power Programming with VBA. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2010. p. 138-140.

Colecciones: objetos del mismo tipo conforman una colección. Por ejemplo, la colección *Worksheets* está conformada por todas las hojas contenidas en un libro. Las colecciones constituyen objetos en sí.

Jerarquía de objetos: los objetos actúan como contenedores de otros objetos. El objeto que encabeza la jerarquía es Excel®. Excel® es un objeto llamado *Application*. El objeto *Application* contiene otros objetos como *Workbook* y *Add-In*; el objeto *Workbook* puede contener otros objetos, como *Worksheet* y *Chart*. La figura 1, mostrada a continuación, ayuda a comprender mejor la jerarquía de objetos en Excel®.

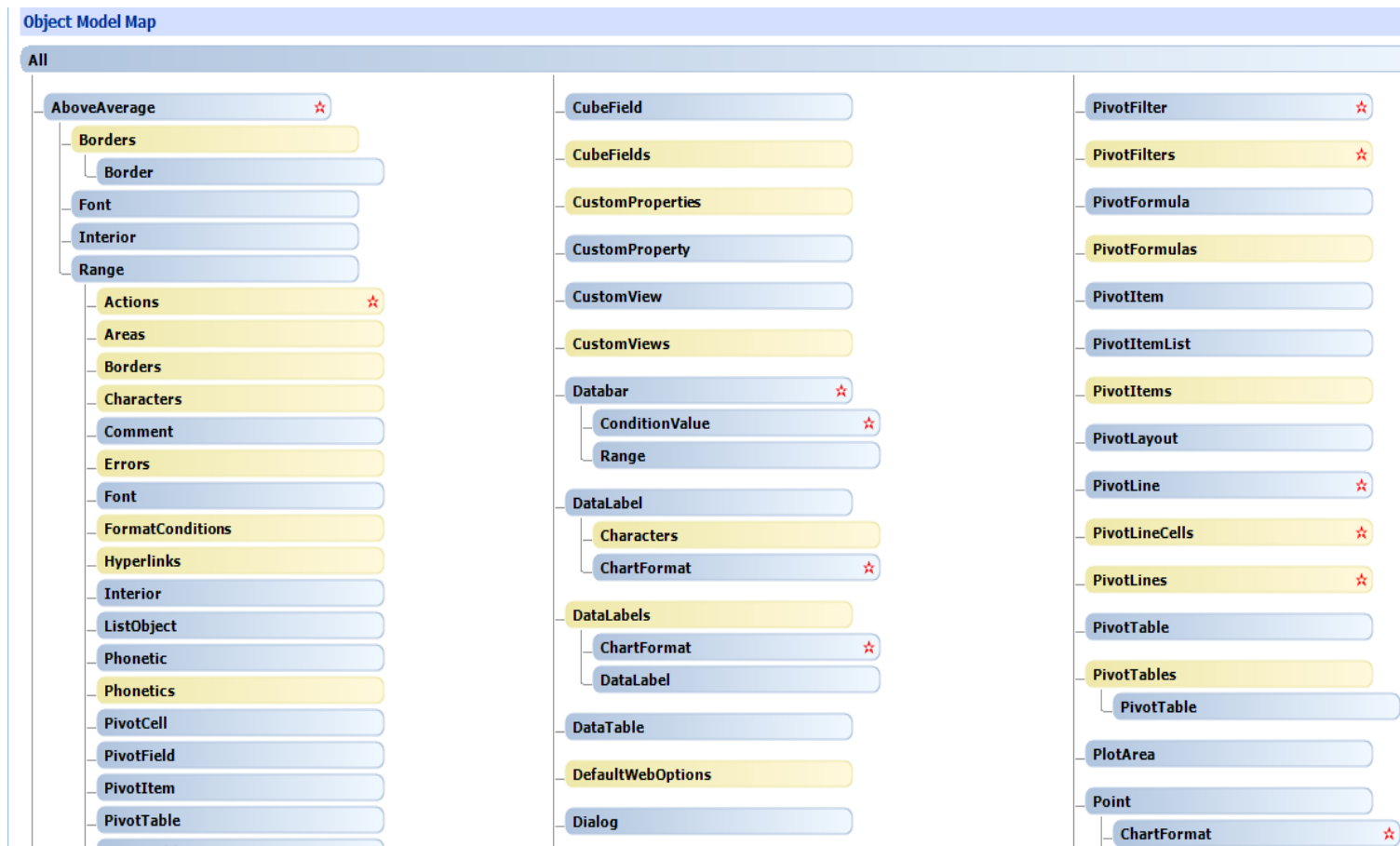
Figura 1. Jerarquía de objetos en Microsoft® Excel®



Fuente: El autor.

El término modelo de objetos se refiere a la clasificación de cada uno de los objetos de los que se dispone en Excel®. La figura 2 muestra parte del mapa de objetos de Excel®. Este es un diagrama enorme en el cual se listan todos los objetos, y explica todos los detalles de cada uno.

Figura 2. Sección del mapa de objetos de Microsoft® Excel®



Fuente: Ayuda de Excel®. Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos © 2010.

Microsoft® Visual Basic® tiene cierta similitud en cuanto a apariencia con Delphi, además ambos promueven el desarrollo rápido de aplicaciones mediante el uso de lo que se conoce un ambiente de desarrollo integrado. El ambiente de desarrollo integrado proporciona todas las herramientas necesarias para diseñar, programar, ejecutar y probar cualquier aplicación que se desee con la ventaja que implica tener las mencionadas herramientas enlazadas para hacer el desarrollo de los programas o aplicaciones mucho más sencilla y amigable.

Las interfaces con que se trabaja en Visual Basic® son bastante simples pero completas lo cual permite que el programador construya la interfaz del usuario en forma gráfica mediante el uso del mouse en lugar de contextualizar, es decir, codificar e introducir todos los comandos y funciones para luego ejecutar y ver como resulta la presentación final. En el segundo caso, sucede que se tiene certeza de lo que se quiere pero no se tiene idea de cómo va a resultar.

El ambiente de desarrollo integrado en el editor de Visual Basic® muestra distinta información en distintas ventanas. Es importante conocer las siguientes ventanas cuando se pretende codificar cualquier tipo de programa:

La ventana explorador del proyecto: en esta se muestran todos los proyectos (grupos de códigos) y las macros que contienen en vista de árbol (parecida a la vista de árbol del Explorador de Windows®). Cada uno de los elementos principales que se utilizan en los proyectos codificados en VBA se guardan en una carpeta independiente para cada proyecto. Estos elementos son:

- ✓ Objetos.
- ✓ Módulos, que contienen el código de macro asociado a la hoja de cálculo.
- ✓ Módulos de clase, que son definiciones de los objetos definidos por el usuario y creados para el libro.

- ✓ Formularios de usuario, que ofrecen una superficie visible en la que se pueden colocar controles gráficos, como botones, imágenes y áreas de texto.

La ventana propiedades: esta ventana se utiliza para examinar y modificar las distintas propiedades asociadas al objeto seleccionado. La única propiedad que suele estar disponible para los módulos es el *Nombre*, aunque otros elementos como son las hojas de cálculo tienen propiedades adicionales que pueden ser modificadas.

La ventana código: esta es la ventana de mayor tamaño del editor de Visual Basic® e incluye en su lado superior dos cuadros desplegable. El cuadro objeto se utiliza para seleccionar el objeto en el que se quiere trabajar. Cuando se trabaja sólo con código, el cuadro muestra el objeto *General* predeterminado. El segundo cuadro desplegable, el cuadro procedimientos, se utiliza para seleccionar macros individuales del módulo actual. Según se agreguen o eliminen macros en el módulo, se agregarán y eliminarán en el cuadro procedimiento.

Como todas y cada una de las herramientas incluidas en las ventanas antes mencionadas trabajan de manera integrada y se complementan unas a otras, el ambiente de desarrollo que dispone el programador es bastante completo y opera en armonía.

1.1 ¿Qué es posible hacer con mediante el uso VBA?

Excel® es usado para diferentes tareas, a continuación se mencionan algunas:

1. Analizar datos científicos.
2. Elaborar presupuestos y pronósticos.
3. Elaborar facturas, formatos y formas.

4. Desarrollar gráficos a partir de datos.
5. Listar datos.

1.2 Ventajas de VBA

Se pueden automatizar la gran mayoría de las tareas que se llevan a cabo en Excel®. Con tal propósito, se deben escribir las instrucciones que la aplicación debe seguir. La automatización mediante el uso del VBA ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Excel® siempre ejecuta las tareas del mismo modo (la consistencia representa una enorme funcionalidad).
- ✓ Excel® ejecuta las tareas mucho más rápido que el usuario en forma manual.
- ✓ Si se programa de forma correcta, no hay posibilidad de errores.
- ✓ Si se disponen los procedimientos y módulos de forma adecuada, cualquier persona, incluso quienes no manejen Excel®, podrá usar la aplicación (macro).

1.3 Desventajas de VBA

Aunque son pocas, se deben mencionar que:

- ✓ No es posible ejecutar las aplicaciones VBA/Excel® como programas independientes, es decir, si no se dispone de Microsoft® Excel®, no sirven.
- ✓ Pueden surgir problemas de compatibilidad, aunque Microsoft® trate de incluir actualizaciones para cada paquete de Excel®, puede que no funcione en todas.

ANEXO E. Resumen referencial de data incluida en los diagramas de bloques para análisis estadístico en BlockSIM®

Block Name	Descripción Equipo	MTBF (HR)	MTTR (HR)	Frecuencia PVO (HR)	MTTR PVO (HR)	DESCRIPCIÓN MANTENIMIENTO
PU-0501CJ	BOMBA SUAVIZACION C	2.360,8	36,6			
PU-0501BJ	BOMBA SUAVIZACION B	2.360,8	36,6			
PU-0501AJ	BOMBA SUAVIZACION A	2.360,8	36,6			
PU-0502J	BOMBA DESPACHO GENERADORES VAPOR B	2.360,8	36,6			
PU-0501J	BOMBA DESPACHO GENERADORES VAPOR A	2.360,8	36,6			
X-501	X-501	365,6	10,7	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-502	X-502	349,1	215,0	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-503	X-503	370,3	138,7	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-504	X-504	3.032,3	109,5	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-512	X-512	1.113,1	15,5	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-516	X-516	221,2	49,6	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-517	X-517	422,7	42,0	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-518	X-518	315,7	17,3	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-519	X-519	271,8	32,3	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
X-520	X-520	506,5	46,9	5.760,0	144	Mantenimiento 8 meses Generador
PU-0502J	BOMBA EXTRACCION DE AGUA CRUDA CLUSTER AP	2.360,8	36,6			
PU-0501J	BOMBA EXTRACCION DE AGUA CRUDA MODULO	2.360,8	36,6			
TK-0501J	TANQUE OXIDACION DE AGUA	11.799,4	8,7			
TK-0502J	TANQUE ALMACENAMIENTO AGUA J1-M2- K201	11.799,4	8,7			
FL-0501J	FILTRO DE ARENA ANTRACITA#1	11.799,4	8,7	8.640,0	144	Mantenimiento Anual Filtro
FL-0502J	FILTRO DE ARENA ANTRACITA#2	5.068,6	24,0	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Filtro
FL-0503J	FILTRO DE ARENA ANTRACITA#3	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Filtro

Block Name	Descripción Equipo	MTBF (HR)	MTTR (HR)	Frecuencia PVO (HR)	MTTR PVO (HR)	DESCRIPCIÓN MANTENIMIENTO
FL-0504J	FILTRO DE ARENA ANTRACITA#2	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Filtro
FL-0506J	SUAVIZADOR PRIMARIO # PSS-04, TREN UNO	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Suavizador
FL-0505J	SUAVIZADOR SECUNDARIO # PSS-05, TREN UNO	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Suavizador
FL-0508J	SUAVIZADOR PRIMARIO # PSS-06, TREN DOS	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Suavizador
FL-0507J	SUAVIZADOR SECUNDARIO # PSS-07, TREN DOS	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Suavizador
FL-0510J	SUAVIZADOR PRIMARIO # PSS-08, TREN TRES	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Suavizador
FL-0509J	SUAVIZADOR SECUNDARIO # PSS-09, TREN TRES	11.799,4	8,7	4.320,0	144	Mantenimiento Anual Suavizador
FL-0512J	SUAVIZADOR PRIMARIO-Z-262D , TREN CUATRO	11.799,4	8,7	4.320,0	144	
FL-0511J	SUAVIZADOR SECUNDARIO-Z-263D , TREN CUATRO	11.799,4	8,7	4.320,0	144	
CJ-0301AJ	AGITADOR A CELDA DE FLOTACION	2.609,7	631,2			
CJ-0301BJ	AGITADOR B CELDA DE FLOTACION	1.215,1	44,8			
CJ-0301CJ	AGITADOR C CELDA DE FLOTACION	1.846,1	42,0			
CJ-0301DJ	AGITADOR D CELDA DE FLOTACION	2.710,0	24,0			
PU-0302AJ	BOMBA A ALIMENTACION A FILTROS	1.852,6	12,1			
PU-0302BJ	BOMBA B ALIMENTACION A FILTROS	2.584,4	21,9			
PU-0302CJ	BOMBA C ALIMENTACION A FILTROS	1.852,6	12,1			
TK0301J	TANQUE DESNATADOR AGUAS RESIDUALES SK-301	43.800,0				
TK0302J	TANQUE DESNATADOR AGUAS RESIDUALES SK-302	43.800,0				
FL-0301AJ	FILTRO DE CASCARA DE NUEZ 1	3.898,4	24,0			
FL-0301BJ	FILTRO DE CASCARA DE NUEZ 2	2.710,0	24,0			
FL-0301CJ	FILTRO DE CASCARA DE NUEZ 3	3.894,8	24,0			
PU-0309AJ	BOMBA BOOSTER M2 CENTRIFUGA A	1.852,6	12,1			
PU-0309BJ	BOMBA BOOSTER M2 CENTRIFUGA B	3.725,9	24,0			
PU-0309CJ	BOMBA BOOSTER M2 CENTRIFUGA C	2.104,6	373,2			
PU-0310AJ	BOMBA MULTITAPA INYECCION AGUA WG-A	993,0	49,2			

Block Name	Descripción Equipo	MTBF (HR)	MTTR (HR)	Frecuencia PVO (HR)	MTTR PVO (HR)	DESCRIPCIÓN MANTENIMIENTO
PU-0310BJ	BOMBA MULTIETAPA INYECCION AGUA WG-B	1.378,7	85,7			
PU-0310CJ	BOMBA MULTIETAPA INYECCION AGUA WG-C	863,2	34,8			
PU-0311AJ	BOMBA BOOSTER M1 CENTRIFUGA GOULDS-A	3.626,7	0,5			
PU-0311BJ	BOMBA BOOSTER M1 CENTRIFUGA GOULDS-B	1.852,6	12,1			
PU-0312AJ	BOMBA TRIPLEX-P307A DESPLAZAMIENTO POSITIVO	4.896,0	2.424,0			
PU-0312BJ	BOMBA TRIPLEX-P307B DESPLAZAMIENTO POSITIVO	4.700,4	24,0			
TK0303J	TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA TRATADA	43.800,0				
TK0304J	TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA	43.800,0				
POZO A	POZO A	23,2	0,6			
POZO B	POZO B	46,7	0,9			
POZO C	POZO C	24,6	1,0			
POZO D	POZO D	23,2	0,7			
POZO E	POZO E	408,5	1,7			
POZO F	POZO F	408,5	1,7			
POZO G	POZO G	408,5	1,7			
PU-0201AJ	PUMPS DESPACHO CRUDO CARGADERO 1A	3.542,7	14,6			
PU-0201BJ	PUMPS DESPACHO CRUDO CARGADERO 1B	3.542,7	14,6			
PU-0202AJ	PUMPS DESPACHO CRUDO OLEODUCTO 2A	3.542,7	14,6			
PU-0202BJ	PUMPS DESPACHO CRUDO OLEODUCTO 2B	3.542,7	14,6			
PU-0202CJ	PUMPS DESPACHO CRUDO OLEODUCTO 2C	744,1	82,4			
PU-0203AJ	PUMPS DESPACHO CRUDO VASCONIA 3A	4.825,1	358,2			
PU-0203BJ	PUMPS DESPACHO CRUDO VASCONIA 3B	5.141,4	27,8			
PU-0203CJ	PUMPS DESPACHO CRUDO VASCONIA 3C	3.428,2	160,4			
PU-0204BJ	BOMBAS BOOSTER 4B	3.542,7	14,6			
PU-0204CJ	BOMBAS BOOSTER 4C	3.542,7	14,6			

Block Name	Descripción Equipo	MTBF (HR)	MTTR (HR)	Frecuencia PVO (HR)	MTTR PVO (HR)	DESCRIPCIÓN MANTENIMIENTO
PU-0204AJ	BOMBAS BOOSTER 4A	3.542,7	14,6			
TK0201J	TANQUE 1 ALMACENAMIENTO DE CRUDO 50000 BLS	43.800,0				
TK0202J	TANQUE 2 ALMACENAMIENTO DE CRUDO 50000 BLS	43.800,0				
TK0203J	TANQUE 3 ALMACENAMIENTO DE CRUDO 30000 BLS	43.800,0				
TK0204J	TANQUE 4 ALMACENAMIENTO DE CRUDO 28800 BLS	43.800,0				
TK0205J	TANQUE 5 ALMACENAMIENTO DE CRUDO 20000 BLS	43.800,0				
TK0206J	TANQUE 6 ALMACENAMIENTO DE CRUDO 20000 BLS	43.800,0				
TK0207J	TANQUE 7 ALMACENAMIENTO DE CRUDO 10000 BLS	43.800,0				
CO-0601AJ	COMPRESION DE GAS ANULARES-UMC	442,7	16,5			
CO-0601BJ	COMPRESION DE GAS ANULARES-VRU	246,4	276,5			
VG-0601J	SCRUBBER ENTRADA DE GAS	43.800,0				
FL-0601AJ	FILTRO 1 CITY GATE-FILTRACION DE GAS	43.800,0				
FL-0601BJ	FILTRO 2 CITY GATE-FILTRACION DE GAS	43.800,0				
X-601	CALENTADOR DE GAS	43.800,0				
TK-0601J	ENFRIADOR DE GAS 1	43.800,0				
TK-0602J	ENFRIADOR DE GAS 2	43.800,0				
VG-0602J	SEPARADOR DE CONDENSADO, SCRUBBER	43.800,0				
F-0605AJ	FILTRO 1 DE GAS SCRUBBER	43.800,0				
F-0605BJ	FILTRO 2 DE GAS SCRUBBER	43.800,0				
FKWO X-101	FKWO X-101	349,1	179,3	4.320,0	144	Mantenimiento Semestral
FKWO X-102	FKWO X-102	1.342,1	237,2	4.320,0	144	Mantenimiento Semestral
EHT X-103	EHT X-103	599,3	3,8	4.320,0	144	Mantenimiento Semestral
EHT X-104	EHT X-104	478,0	293,0	4.320,0	144	Mantenimiento Semestral
EHT X-105	EHT X-105	889,3	18,3	4.320,0	144	Mantenimiento Semestral
EHT X-106A	EHT X-106A	426,1	133,3	4.320,0	144	Mantenimiento Semestral

Block Name	Descripción Equipo	MTBF (HR)	MTTR (HR)	Frecuencia PVO (HR)	MTTR PVO (HR)	DESCRIPCIÓN MANTENIMIENTO
PU-0102AJ	BOMBA SEEPEX RESIDUOS ACEITOSOS A	2.952,0	4.344,0			
PU-0102BJ	BOMBA SEEPEX RESIDUOS ACEITOSOS B	3.907,8	24,0			
BA-0101J	SKIMMER	43.800,0				
TK-0130J	SURGE TANK JAZMIN	2.332,7	62,9			
TK-0131J	WASH TANK	2.332,7	62,9			
PU-0110J	BOMBAS TRANSF. LINEA CRUDO JAZ 1	3.542,7	14,6			
PU-0111J	BOMBAS TRANSF. LINEA CRUDO JAZ 2	3.542,7	14,6			
SBB4	CELDA ALIMENTACION TRAF0 DE 13,2KV/ 4160 VAC	43.800,0				
SBB5	CELDA ALIMENTACION CIRCUITO ORIENTE 13.2KV	446,7	0,2			
SBB7	CELDA ALIMENTACION CIRCUITO NORTE 13.2KV	573,2	0,2			
SBB10	CELDA ALIMENTACION CIRCUITO URN 13.2KV	914,4	0,5			
SBB11	CELDA ENTRADA ALIMENTACION CENTRO DE GENERACION	4.107,5				
SBB2	CELDA DE DISTRIBUCCION A CCM MTB2	43.800,0				
SBB1	CELDA A TRAF0 N° 1 2.5MVA / TF603A CCM MODULO 1	43.800,0				
SBB12	CELDA A TRAF0 N° 2 2.5MVA / TF603A CCM MODULO 1	43.800,0				
SBB3	CELDA TRAF0 7.5MVA/TF601A ENTRADA 13,2 KV TRAF0 A	1.435,2	0,4			
SBB9	CELDA TRAF0 7.5MVA/TF601A ENTRADA 13,2 KV TRAF0 B	1.435,2	0,4			
GE0401AJ	ENERADOR PLANTA STEWARTEVENSON 1	4.107,5	0,5			
GE0401BJ	ENERADOR PLANTA STEWARTEVENSON 2	4.107,5	0,5			