

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO PARA LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. –
FORMADCOL**

**SANTIAGO ENRIQUE DIAZ ORTIZ
DANIEL FERNANDO OSORIO CUERVO**

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

2018

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO PARA LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. –
FORMADCOL**

**SANTIAGO ENRIQUE DIAZ ORTIZ
DANIEL FERNANDO OSORIO CUERVO**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

Ingeniero Mecánico

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

2018

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado fortaleza para lograr mis objetivos, a mi madre María Teresa por su apoyo incondicional, a mi padre Hugo por ser un ejemplo de perseverancia y paciencia.

A todas esas personas que creyeron en mí, Dios los bendiga.

Santiago Enrique Díaz Ortiz

A Dios por ayudarme a cumplir este sueño y darme la fuerza para superar todas las dificultades. A mis padres Rodrigo y Patricia por su esfuerzo, sacrificio y confianza incondicional, a mi hermana Andrea por su alegría y consejos, a Daniela por su apoyo y motivación y a toda mi familia y amigos que contribuyeron en el desarrollo y culminación de esta etapa de mi vida.

Daniel Fernando Osorio Cuervo

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Isnardo González Jaimes, director del proyecto de grado, por su excelente asesoría y orientación en la realización y culminación de este proyecto.

A la empresa Paneles Estructurales S.A.S. – Formadcol por brindarnos la oportunidad y darnos la confianza para realizar el proyecto de grado dentro de su planta.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	22
1. PERFIL DE LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. - FORMADCOL	23
1.1 HISTORIA DE LA EMPRESA	23
1.2 MISIÓN	24
1.3 VISIÓN	25
1.4 VALORES CORPORATIVOS	25
1.5 POLÍTICAS DE CALIDAD	25
1.6 CONTACTO	26
1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.8 OBJETIVOS DEL PROYECTO	32
1.8.1 Objetivo general	32
1.8.2 Objetivos específicos	32
1.9 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	33
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	34
2.1 DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO	34
2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	34
2.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	35
2.3.1 Planeación	37
2.3.2 Programación	37
2.3.3 Ejecución	37
2.3.4 Control	38

2.3.5 Ventajas del mantenimiento preventivo	38
2.4 ANÁLISIS DE PARETO	38
3. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA EMPRESA	39
3.1 MODELO DE AUDITORÍA	39
3.2 PROCESO DE APLICACIÓN DE LA AUDITORÍA	41
3.2.1 Estrategia, visión y misión	42
3.2.2 Reconocimiento del lugar	42
3.2.3 Entrevistas	42
3.2.4 Recolección de datos	43
3.2.5 Sistema de mantenimiento	43
3.2.6 Compilación y análisis	43
3.3 EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	43
3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA AUDITORÍA	44
3.5 PONDERACIÓN DE RESULTADOS	51
3.5.1 Resultados generales	51
3.5.2 Criticidad de rutas de inspección	52
3.5.3 Manejo de la información sobre equipos	53
3.5.4 Estado del mantenimiento actual	54
3.5.5 Antecedentes de costos de mantenimiento	54
3.5.6 Efectividad del mantenimiento actual	55
3.5.7 Conclusión	56
4. ESTRUCTURACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	59
4.1 JEFE DE MANTENIMIENTO	59
4.2 TÉCNICO ELECTRICISTA	61

4.3 TÉCNICO ELECTROMECAÁNICO	62
5. CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL	64
5.1 TAXONOMÍA DE EQUIPOS ISO 14224	64
5.2 NIVELES DE JERARQUIZACIÓN	65
5.3 CODIFICACIÓN	69
6. CRITICIDAD DE ACTIVOS	71
6.1 ANÁLISIS DE PARETO	71
6.2 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)	74
6.3 DETERMINACIÓN DE LA RELEVANCIA DE LOS CRITERIOS	74
6.4 SINTESIS DE INFORMACIÓN DE LA MATRIZ DE COMPARACIONES	76
6.5 EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA DE LOS JUICIOS DE DECISIÓN	77
6.6 APLICACIÓN DEL METODO AHP EN LA BUSQUEDA DE SISTEMAS CRÍTICOS	78
6.7 CÁLCULO DE LA RELEVANCIA DE CRITERIOS	79
6.8 RESULTADOS DEL AHP	82
7. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS CRÍTICOS	86
7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS	86
7.1.1 Troqueladoras	86
7.1.2 Dobladoras	87
7.1.3 Montacargas	88
7.1.4 Cortadoras	89
7.1.5 Multifuncionales GEKA	89
7.1.6 Tornos	90
7.2 PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	91

8. DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL SISTEMAS DE INFORMACIÓN	93
8.1 HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	95
8.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	96
8.3 ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO	96
8.4 PLAN DE TRABAJO	97
8.5 REPORTES DE GRUPOS DE ANÁLISIS	98
8.6 LISTA DE PIEZAS Y MATERIALES	98
9. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN	100
9.1 REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA	100
9.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN	101
9.3 MATRIZ DE CALIDAD QFD	101
9.4 PONDERACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN	102
9.5 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	103
9.5.1 Alternativa 1: INFOM@NTE®	103
9.5.2 Alternativa 2: SAIM®	104
9.5.3 Alternativa 3: SYSCOM	106
9.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	107
10. SISTEMA DE INFORMACIÓN SAIM PARA LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL	108
10.1 DESCRIPCIÓN SAIM	108
10.1.1 Ingreso a la aplicación	109
10.1.2 Login	109
10.1.3 Inicio	110
10.1.4 Órdenes de trabajo (OT)	111

10.1.5 Hoja de vida de activos (HVA)	112
10.1.6 Plan detallado de trabajo (PDT).	114
10.1.7 Cronograma de actividades	115
10.1.8 Reunión de seguimiento diario (RSD)	115
10.1.9 Utilidades de mantenimiento (UM)	116
10.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN SAIM	119
10.3 CAPACITACIÓN	122
11. ANÁLISIS ECONÓMICO	124
12. CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. FORMADCOL. Formaletas metálicas de Colombia	23
Figura 2. FORMADCOL. Planta física	27
Figura 3. Andamios y encofrados	27
Figura 4. Encofrado de diseños especiales y equipo de apuntalamiento	28
Figura 5. Curva mantenimiento correctivo	35
Figura 6. Curva mantenimiento preventivo	36
Figura 7. Estructura del proceso de auditoría del mantenimiento	41
Figura 8. Resultados generales	51
Figura 9. Resultados criticidad de rutas de inspección	52
Figura 10. Resultados manejo de la información sobre equipos	53
Figura 11. Resultados estado del mantenimiento actual	54
Figura 12. Resultados de antecedentes de costos de mantenimiento	55
Figura 13. Resultado efectividad del mantenimiento actual	56
Figura 14. Resultados aspectos de la auditoría	57
Figura 15. Organigrama de la empresa	63
Figura 16. Taxonomía ISO 14224	64
Figura 17. Plano producción primer nivel	67
Figura 18. Plano producción segundo nivel	68
Figura 19. Codificación antigua de la empresa	69
Figura 20. Codificación para la empresa	70
Figura 21. Diagrama de Pareto área de producción	73
Figura 22. Matriz de comparaciones pareadas entre criterios y alternativas	76
Figura 23. AHP determinación criticidad de subsistemas troqueladora.	78
Figura 24. Distribución normal de los subsistemas	84
Figura 25. Troqueladora 8, potencia de 5500 watt	87
Figura 26. Dobladora 2	88

Figura 27. Montacargas Caterpillar	89
Figura 28. Cortadora hidráulica 2	89
Figura 29. Multifuncional GEKA Hidracrop 55SD	90
Figura 30. Torno paralelo	90
Figura 31. Módulos de un CMMS	94
Figura 32. Diagrama de flujo hojas de vida	95
Figura 33. Ejemplo cronograma de actividades	96
Figura 34. Diagrama de flujo orden de trabajo	97
Figura 35. Diagrama de flujo plan de mantenimiento preventivo	98
Figura 36. Diagrama de flujo listado de piezas	99
Figura 37. Pantalla principal Infom@nte®	104
Figura 38. Pantalla de inicio SAIM	105
Figura 39. Módulo de hoja de vida de activos	105
Figura 40. Módulo de orden de trabajo en SYSCOM	106
Figura 41. Descripción SAIM	108
Figura 42. Ingreso	109
Figura 43. Login	110
Figura 44. Pantalla de inicio	111
Figura 45. Lista órdenes de trabajo	111
Figura 46. Detalle orden de trabajo	112
Figura 47. Lista de hojas de vida	112
Figura 48. Detalle hoja de vida de activos	113
Figura 49. Imagen hoja de vida de activos	114
Figura 50. Plan detallado de trabajo	114
Figura 51. Cronograma de actividades	115
Figura 52. Reunión de seguimiento diario	116
Figura 53. Utilidades de mantenimiento	116
Figura 54. Grupos de análisis	117
Figura 55. Matriz de criticidad	117
Figura 56. Lista de partes APL	118

Figura 57. Informe de hoja de vida generada por SAIM	120
Figura 58. Informe orden de trabajo generado por SAIM	121
Figura 59. Cronograma de actividades generado por SAIM	122
Figura 60. Lista de actividades preventivas	122
Figura 61. Ficha técnica capacitación	123

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de equipos	29
Tabla 2. Criterio definición de calidad del mantenimiento	44
Tabla 3. Identificación y caracterización de la empresa.	45
Tabla 4. Criticidad de rutas de inspección	46
Tabla 5. Manejo de la información sobre equipos	47
Tabla 6. Estado del mantenimiento actual	48
Tabla 7. Antecedentes de costos de mantenimiento	49
Tabla 8. Efectividad del mantenimiento actual	50
Tabla 9. Aspectos generales	51
Tabla 10. Evaluación criticidad de rutas de inspección	52
Tabla 11. Evaluación manejo de la información sobre equipos	53
Tabla 12. Evaluación estado del mantenimiento actual	54
Tabla 13. Evaluación de antecedentes de costos de mantenimiento	54
Tabla 14. Evaluación efectividad del mantenimiento actual	55
Tabla 15. Propuestas de mejora	58
Tabla 16. Distribución de áreas	66
Tabla 17. Subdivisión área de producción 1	66
Tabla 18. Subdivisión área de producción 2	66
Tabla 19. Codificación activos Paneles Estructurales S.A.S –FORMADCOL	70
Tabla 20. Listado equipos sección producción y su frecuencia de falla	71
Tabla 21. Cálculos frecuencia de falla, frecuencia acumulada y porcentajes	72
Tabla 22. Escala de preferencias	75
Tabla 23. Jerarquización de la relevancia de los criterios de evaluación	79
Tabla 24. Cálculo índice de consistencia, consistencia aleatoria y radio de consistencia	80
Tabla 25. Relevancia de frecuencia de falla	80

Tabla 26. Relevancia del impacto en seguridad y medio ambiente	81
Tabla 27. Relevancia del impacto operacional	81
Tabla 28. Relevancia del costo de reparación	81
Tabla 29. Relevancia del tiempo de reparación	81
Tabla 30. Cálculo valores de criticidad para subsistemas de troqueladoras	82
Tabla 31. Resultados del AHP y distribución normal de los subsistemas	83
Tabla 32. Descripción de los niveles de mantenimiento	91
Tabla 33. Programa de mantenimiento preventivo troqueladoras	92
Tabla 34. Matriz QFD	102
Tabla 35. Ponderación de los requerimientos	102
Tabla 36. Evaluación de alternativas	107
Tabla 37. Inversión para la implementación del sistema de información	124
Tabla 38. Costo por hora IMOCOM	125
Tabla 39. Cálculo costo mantenimiento correctivo	125
Tabla 40. Utilidad neta 2016	126
Tabla 41. Costos producción tiempo muerto mantenimiento correctivo	126
Tabla 42. Ingresos mensuales	127
Tabla 43. Costo producción tiempo muerto mantenimiento preventivo	127
Tabla 44. Egresos mensuales	127
Tabla 45. Análisis de inversión	128

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Formato de auditoría implementado	CD-ROM
Anexo B. Manual de funciones y descripción de cargos	CD-ROM
Anexo C. Codificación de los activos de la empresa Paneles Estructurales S.A.S. – Formadcol	CD-ROM
Anexo D. Aplicación del método AHP para equipos críticos	CD-ROM
Anexo E. Análisis de criticidad por factores ponderados basados en el concepto de riesgo	CD-ROM
Anexo F. Programas de mantenimiento preventivo para equipos críticos	CD-ROM
Anexo G. Soportes capacitación	CD-ROM

RESUMEN

TITULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. - FORMADCOL*
AUTORES:	SANTIAGO ENRIQUE DIAZ ORTIZ DANIEL FERNANDO OSORIO CUERVO**
PALABRAS CLAVE:	Plan de mantenimiento, Pareto, Sistema de información, mantenimiento preventivo, codificación, AHP.

DESCRIPCION:

Este proyecto de grado tiene como objetivo entregar un plan de mantenimiento preventivo a la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL para los equipos ubicados en el área de producción de encofrado metálico.

El desarrollo del proyecto comienza con la recopilación de información relevante y el diagnóstico del mantenimiento actual de la empresa mediante la aplicación de una auditoría que muestra las fortalezas y debilidades de la empresa en esta área. Se modifica la codificación utilizada para ser remplazada por una que cumpla lo estipulado en la norma ISO 14224, la cual mediante el código ayuda a la ubicación del activo dentro de la planta. Posteriormente para el desarrollo del plan de mantenimiento se efectúa un análisis de Pareto, con el que se busca detectar los equipos que más afectan a la producción con base en la cantidad de fallas que presentan. Una vez ubicados estos activos se implementa la metodología del proceso de análisis jerárquico (AHP) sobre los subsistemas de los equipos críticos, para el diseño del plan y las diferentes intervenciones sobre estos.

Establecido el plan de mantenimiento se procede a la selección y puesta a punto del sistema de información más adecuado para las necesidades de la empresa y se efectúa un análisis de costos para evaluar los resultados del proyecto y su viabilidad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE COMPANY PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL *

AUTHORS: SANTIAGO ENRIQUE DIAZ ORTIZ
DANIEL FERNANDO OSORIO CUERVO**

KEY WORDS: Maintenance plan, Pareto, Information system, preventive maintenance, codification, AHP.

DESCRIPTION:

This project has the purpose to deliver a preventive maintenance plan to the company PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL for the equipment located in the production area of metallic formwork.

The development of the project begins with the collection of relevant information and the diagnosis of the current maintenance of the company with the application of an audit that shows the strengths and weaknesses of the company in this area. The coding used is replaced by one that meets the needs stipulated in ISO 14224 standard, which helps by means of the code to the location of the machine within the plant. Later, for the development of the maintenance plan, a Pareto analysis is carried out, that helps to detect the equipment that most affect the production, based on the number of failures that they present. Once these equipments are located, the methodology of the hierarchical analysis process (AHP) is implemented on the subsystems of the critical equipment, for the design of the plan and the different interventions on these.

Once the maintenance plan has been established, the selection and development of the most appropriate information system for the needs of the company is carried out and a cost analysis is development to evaluate the results of the project and its viability.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico.

INTRODUCCIÓN

PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL es una empresa Santandereana dedicada a la fabricación, venta y alquiler de encofrado metálico para vaciado de concreto. Entre sus clientes y socios más reconocidos se encuentran constructoras como MARVAL, URBANAS, VALCO, entre otras.

La empresa actualmente cuenta con amplias instalaciones y una gran variedad de equipos que deben ser mantenidos para su óptimo funcionamiento y la prolongación de su vida útil. A pesar de que se ha implementado internamente un plan de mantenimiento autónomo, se ven fallas en el control de las actividades y en los registros.

Teniendo presente las falencias detectadas en la empresa se plantea este proyecto de grado que pretende desarrollar un plan de mantenimiento preventivo buscando independizar las labores de mantenimiento del departamento de producción; además permite detectar los sistemas y equipos críticos que afectan en mayor medida la producción mediante el análisis de Pareto y el proceso de análisis jerárquico (AHP), y de esta manera enfocar recursos y esfuerzos a zonas que realmente lo requieran.

En las técnicas de mantenimiento modernas se destaca la importancia de los sistemas de información como apoyo a las labores de sostenimiento y preservación de los activos. Estos software se enfocan en llevar un control de los activos y de sus intervenciones, por lo que es ideal la selección e implementación de un CMMS (Computerized Maintenance Management System) que se adapte a las necesidades y condiciones de la empresa, que permita llevar control sobre las ordenes de trabajo, las hojas de vida de los activos y cronogramas de las diferentes acciones e intervenciones establecidas en el plan de mantenimiento.

1. PERFIL DE LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. - FORMADCOL

PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. - FORMADCOL “es una empresa santandereana dedicada a la fabricación, alquiler y venta de encofrado metálico para vaciado en concreto. Cuenta con amplias instalaciones de mantenimiento y producción, las cuales están dotadas con maquinaria de última tecnología y un equipo humano altamente capacitado, lo que permite ofrecer productos y servicios de excelente calidad”¹.

1.1 HISTORIA DE LA EMPRESA

En el año 1997 en Piedecuesta - Santander se registra ante Cámara de Comercio de Bucaramanga, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. junto con su marca comercial FORMADCOL. Inicia sus labores con 3 empleados, dedicándose únicamente al alquiler de equipos para la construcción y formaleta tipo tradicional.

Figura 1. FORMADCOL. Formaletas metálicas de Colombia



Fuente. FORMADCOL. [En línea]. [Consultado el 23 de noviembre del 2017].
Disponibile en: <http://www.formadcol.com/>

¹ FORMADCOL. [En línea]. [Consultado el 23 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.formadcol.com/>

La compañía surge gracias al gran desempeño del señor Gilberto Flórez Briceño y su ardua experiencia en el sector de la construcción, donde logró una excelente reputación por su honestidad y responsabilidad como Técnico Constructor.

FORMADCOL con el transcurso del tiempo empieza a destacarse como una sociedad sólida y promotora del desarrollo de la región.

A partir del mes de marzo de 2011, abre su nuevo departamento de Comercio Exterior donde se han ido adelantando importantes negociaciones con países como Venezuela, México, Costa Rica, Panamá y Perú, entre otros.

Para FORMADCOL, el trabajo social también es parte fundamental del desarrollo, es por eso que se ha vinculado a labores sociales dando apoyo económico y de servicio a entidades sin ánimo de lucro como la Fundación Hogares Claret y la Fundación AVAC.

Algunos de sus principales clientes a lo largo del tiempo son: MARVAL, URBANAS, OTECO, PROURBE, INRALE, LUIS ALBERTO BELTRAN, HERNANDEZ GOMEZ CONSTRUCTORA, BM 3 OBRAS Y SERVICIOS S.A, COVIN S.A, CONSTRUCTORA GRAMMA, CONSTRUCCIONES O Y P, CONSTRUCTORA V.C y COVIN CONTRUCCIONES.

Es así como su actividad comercial, no solo se extiende en los Santanderes sino también a importantes ciudades del país como Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Bogotá, Medellín, Neiva y Cúcuta, entre otras.

Hoy en día cuenta con más de 150 empleados y distintos departamentos laborales, que ayudan a prestar un mejor servicio a cada uno de los clientes.

1.2 MISIÓN

Ofrecer un producto que cumpla con los más altos estándares de calidad, brindando un excelente servicio en alquiler y venta de encofrado metálico para construcción.

Contamos con un equipo humano altamente calificado que brinda asistencia profesional durante la ejecución de los proyectos de cada uno de nuestros clientes, logrando así la satisfacción de las necesidades que la obra requiere.

1.3 VISIÓN

Consolidarnos a nivel nacional como una de las empresas líder en la comercialización de encofrado metálico para vaciado de concreto, orientado en lograr la satisfacción de nuestros clientes por medio de un adecuado desarrollo tecnológico, la excelencia del talento humano y óptima calidad en nuestros productos, logrando así participación en el mercado internacional que nos permita intervenir en proyectos a gran escala.

1.4 VALORES CORPORATIVOS

Los valores corporativos de FORMADCOL, constituyen un marco ético de trabajo que es parte esencial de toda cultura empresarial, ya que aportan un sentido de dirección común a todas las personas que componen la empresa y unas directrices de comportamiento y actitud ante su labor diaria.

Estos valores son: Honestidad, proactividad, excelencia, creatividad, la familia, respeto, responsabilidad, integridad y conciencia ecológica.

1.5 POLÍTICAS DE CALIDAD

FORMADCOL se compromete con sus clientes, empleados, proveedores y con la sociedad en general, a mejorar continuamente su sistema de gestión de calidad,

garantizando la satisfacción de las necesidades de nuestros clientes, a través de productos y servicios que cumplan con los requisitos técnicos y legales, facilitándoles soluciones integrales que cumplen sus expectativas de manera continua. Contamos con un talento humano calificado y comprometido con el cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos.

La organización utiliza materia prima, insumos, equipos e infraestructura que cumplen con los estándares de calidad requeridos para lograr productos y servicios de primer nivel.

1.6 CONTACTO

Oficina Principal: Calle 7 # 5-30 / Piedecuesta, Santander – Colombia.

Teléfonos de contacto: (57) (7) 6551125 - 6555262

Dirección web: <http://www.formadcol.com/>

Contacto comercial: comercial1@formadcol.com

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL es una empresa santandereana fundada por el señor Gilberto Flórez Briceño en 1997 y ubicada en Piedecuesta en la Zona Industrial Guatiguará. Se dedica a la fabricación, alquiler y venta de encofrado metálico para vaciado en concreto.

Actualmente la empresa cuenta con más de 150 empleados y está dotada con un gran número de maquinaria entre las áreas de producción, mantenimiento y almacenamiento.

Figura 2. FORMADCOL. Planta física



Fuente. FORMADCOL. [En línea]. [Consultado el 23 de noviembre del 2017].
Disponible en: <http://www.formadcol.com/>

Dentro de los productos ofrecidos por la empresa se encuentran andamios, encofrado, encofrado de diseños especiales como por ejemplo encofrado para escaleras y viga en I, equipo consumible, equipo de accesorios tales como martillo extractor, tensor y grapa, equipo de apuntalamiento entre los cuales están cercha, paral común y tablón metálico y por último equipo de mantenimiento como por ejemplo ajustador de bandas y banco de mantenimiento.

Figura 3. Andamios y encofrados



Fuente. FORMADCOL. [En línea]. [Consultado el 23 de noviembre del 2017].
Disponible en: <http://www.formadcol.com/>

Figura 4. Encofrado de diseños especiales y equipo de apuntalamiento



Fuente. FORMADCOL. [En línea]. [Consultado el 23 de noviembre del 2017].
Disponible en: <http://www.formadcol.com/>

Algunos de los equipos utilizados en la manufactura de los productos ofrecidos por la empresa se pueden ver en la tabla 1.

A la compañía llegan láminas de acero SAE 1020 de gran tamaño, las cuales se cortan para facilitar su manipulación. Dependiendo del tipo de diseño de la formaleta, algunas pasan por dobladoras, roladoras, mesas de corte de plasma, tornos, troqueladoras, taladros y equipos multifuncionales. Estas labores son realizadas en la planta baja de la zona de producción y cuando ya están listas para su ensamble, son transportadas mediante un puente grúa o un cargador hidráulico. En la zona de ensamblaje se encuentra el equipo de soldadura, equipos para la limpieza y lavado de formaletas y una cabina de pintura en donde salen las formaletas listas para su almacenamiento o distribución.

Tabla 1. Listado de equipos

		LISTADO MAESTRO DE EQUIPOS				
CODIGO	NOMBRE DE EQUIPO	FABRICANTE	MODELO	NUMERO DE SERIE	FECHA DE ADQUISICION	FOTOGRAFIA
DOB-02	DOBLADORA 2	ADIRA	PMO1553PLS	QUO0063-32-0375	01/01/2013	
ECA-01	ELEVADOR DE CARGA 1	ALIANZA RICAURTE	ELEVADOR 3000 KG	NO REGISTRA	13/06/2015	
ESM-03	EQUIPO DE SOLDADURA MILLER 3	MILLER	MILLERMATIC 252	MB370223N	01/01/2012	
FRE-02	FRESADORA 2 (TALADRO ARBOL)	IMODRIL	DM-40-20	2005051		
GRU-01	PUENTE GRUA 1	IMOCOM (STAHL)	SH 4012-20 4/1 L3 KE	2123252	27/02/2015	
MCP-01	MESA DE CORTE DE PLASMA 1	STEELTAILOR	SAMART III	12513040-8	01/05/2015	
MGK-01	MULTIFUNCIONAL GEKA	GEKA HYDRACROP	55 SD	22899	2011	
MTC-03	MONTACARGA 3	CAT	PD11000	AT28C50323	10/10/2012	
PUH-001	PURIFICADOR DE HUMOS METÁLICOS	KEMPER	64141	252523	01/01/2013	

REC-01	RECTIFICADORA DE SUPERFICIES PLANAS 1	YUNNAN	CY-MY820	20160130010	02/06/2016	
ROL-01	ROLADORA 01	INDUTES FUJITEC	EM-62	2773	15/05/2015	
SEG-01	SEGUETA ELÉCTRICA	COSEN	MH-916JRP	9528081	01/01/2007	
TCNC-01	TORNO CNC 1	LEADWELL	LTC-20D	L2TAD0094	19-abr-15	
TDA-03	TALADRO DE ÁRBOL 3	HOPEX	NO REGISTRA	ZJ4132A	NO REGISTRA	
TDA-04	TALADRO DE ÁRBOL 4	IMODRIL	DM-70-40	0548	NO REGISTRA	
TDA-05	TALADRO DE ÁRBOL 5	TRUPER	TAPI-15	NO REGISTRA	NO REGISTRA	
TOR-01	TORNO PARALELO	IMOTORN	CY 6240 B /100	111220457	26/03/2012	
TOR-02	TORNO REVOLVER	COSEN MACHINE INDUSTRIAL	LHT-42	940557	01/01/2012	

TRO-003	TROQUELADORA 3	SOLZUNGEN	120 TONELADAS	NO REGISTRA	01/01/2008	
TRO-005	TROQUELADORA 5	ARISA	BV-453556	NO REGISTRA	01/01/2008	
TRO-006	TROQUELADORA 6	ARISA	BV-45	3556	01/01/2008	
TRO-008	TROQUELADORA 8	MACHINE BV	NMW	1911,87	15/05/2015	
ATC-01	ALIMENTADOR TORNO CNC	FEDEK	DH65L	14637603	19-abr-15	
CDT-02	COMPRESOR DE TORNILLO 2	SULLAIR	1500e (1509E AC)	201304130003	05/06/2015	
CMCP-01	CABINA MESA DE CORTE PLASMA 1	ALIANZA RICAURTE	2015	NO REGISTRA	01/08/2015	

Dentro de la misión de la compañía está ofrecer un producto que cumpla con los más altos índices de calidad, sin embargo, los programas de mantenimiento existentes, presentan fallas y debilidades en la planeación, organización y control,

dificultando el cumplimiento de esta meta. Asimismo, la inadecuada aplicación del mantenimiento disminuye los estándares de disponibilidad de los activos, impidiendo que se realicen sus funciones adecuadamente y que no produzcan el efecto esperado, es decir, son ineficientes e ineficaces, generando sobrecostos y pérdida de tiempo.

1.8 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.8.1 Objetivo general: Contribuir con la misión del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander mediante la construcción, aplicación y divulgación de conocimiento fortaleciendo las relaciones Industria – Universidad al diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL.

1.8.2 Objetivos específicos:

- Estructurar el departamento de mantenimiento de la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL para distribuir responsabilidades y tareas a cada uno de los trabajadores.
- Realizar un diagnóstico del estado actual de los equipos y un estudio de criticidad de los activos de la empresa.
- Establecer un programa de mantenimiento preventivo para los equipos críticos de la empresa que incluya hojas de vida, órdenes de trabajo, historial de la máquina, indicadores de desempeño, rutinas, cronogramas de mantenimiento e inventarios.
- Seleccionar el sistema de información que mejor se ajuste a las necesidades de la empresa, que permita dar control y seguimiento al programa de mantenimiento.

- Implementar el plan de mantenimiento preventivo de la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL mediante el uso del sistema de información seleccionado.
- Capacitar al personal de la empresa, usuarios de la función de mantenimiento, en la implementación y manejo del nuevo software.

1.9 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Con el diseño y la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL se pretende aumentar la disponibilidad de los equipos y disminuir las paradas no programadas. Todo esto en busca de reducir los costos asociados al mantenimiento de los equipos y satisfacer la misión de la empresa de ofrecer un producto el cual cumpla los más altos estándares de calidad ofreciendo un excelente servicio en alquiler y venta de encofrado metálico para construcción.

Para la gestión del mantenimiento eficiente y eficaz se ha propuesto el desarrollo de un departamento de mantenimiento, el cual sea autónomo y se encuentre a un mismo nivel como los departamentos de producción y ventas. Este departamento se apoyará en una investigación en la cual se determinarán cuáles son las maquinas más críticas para la producción y en una herramienta de software CMMS (sistema de gestión de mantenimiento computarizado) que cuente con bases de datos para llevar un registro virtual que posea respaldo de la información y permita la planificación, elaboración y control de órdenes de trabajo para acciones de mantenimiento futuras.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento se puede definir como un “conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que éstos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados”². Hay que resaltar que en la mayoría de los casos estos sistemas o equipos no son independientes entre sí, sino que forman parte de una cadena de producción en la cual el proceso de manufactura de algún producto o servicio se divide en sub-procesos que se deben llevar a cabo con tiempos y acabados precisos, por ende el objetivo principal, desde la perspectiva del encargado de la gestión del mantenimiento, es garantizar que la producción se vea interrumpida lo menos posible.

Teniendo un concepto claro del objetivo de la gestión de mantenimiento, es posible clasificar las técnicas de mantenimiento en dos tipos: mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.

2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

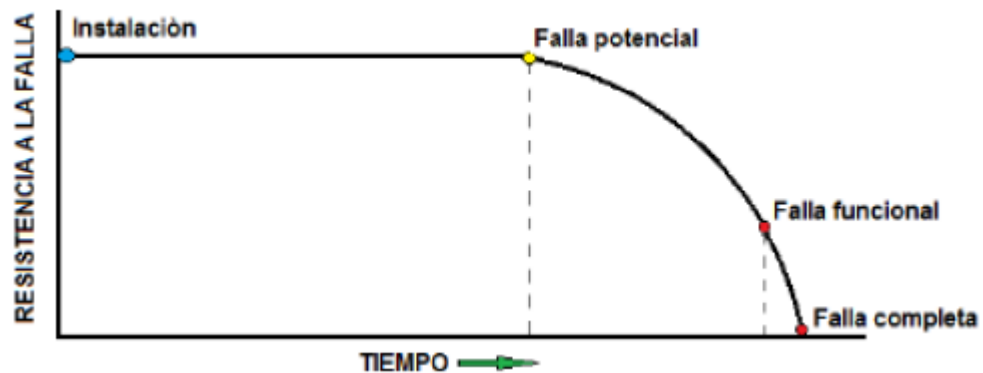
El mantenimiento correctivo como su nombre lo indica, únicamente actúa sobre los sistemas que se encuentren en estado de falla, buscando llevar el sistema a condiciones normales de operación, siendo a grandes rasgos el equipo en sí el que determina las paradas.

Como objetivo principal del correctivo, se tiene la puesta en marcha del sistema en el menor tiempo y costo posible. Este tipo de mantenimiento normalmente es

² BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. Bogotá: SENA, 1991. 90p.

encontrado en pequeñas empresas. Para medianas y grandes empresas aplicar un mantenimiento correctivo a todos sus sistemas genera grandes sobrecostos, grandes tiempos muertos, entre otras situaciones desfavorables para la empresa.

Figura 5. Curva mantenimiento correctivo



Fuente. BORRAS, Carlos. Ingeniería de mantenimiento. Material docente

2.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

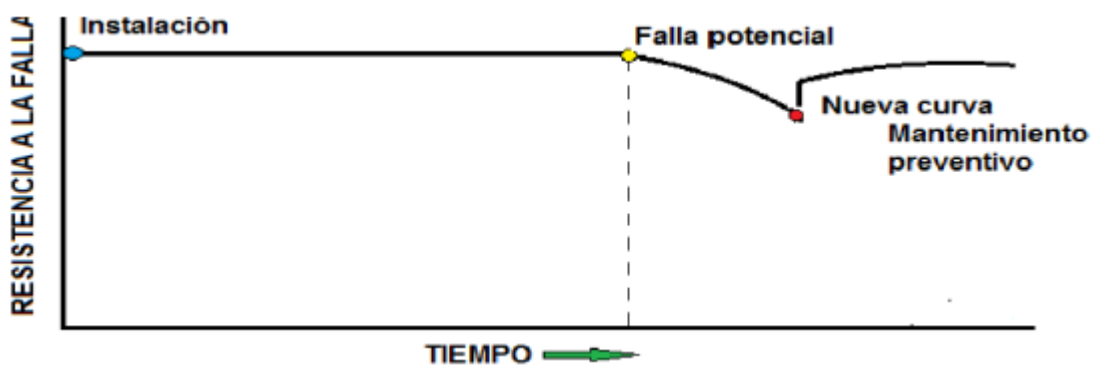
El mantenimiento preventivo es el que se realiza a los equipos de una planta en forma planificada con un programa de actividades previamente establecido, con base en inspecciones periódicas y debidamente determinadas según la naturaleza de cada máquina y encaminada a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas inesperadas o daños mayores que afecten la vida útil de los equipos.

El éxito de un programa de mantenimiento preventivo se fundamenta en el análisis detallado de cada una de las máquinas y en el cumplimiento estricto de las actividades, por lo tanto se debe realizar un buen control.

A la hora de desarrollar un programa de mantenimiento preventivo, se deben responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué hay que mantener?
- ¿Qué hay que hacer para mantenerlo en funcionamiento?
- ¿Cuándo y cada cuánto hay que hacerlo?
- ¿Cómo hay que hacerlo?
- ¿Qué personal se requiere para hacerlo?
- ¿Cuánto tiempo requiere hacerlo?³

Figura 6. Curva mantenimiento preventivo



Fuente. BORRAS, Carlos. Ingeniería de mantenimiento. Material docente

Cuando se vaya a implementar un programa de mantenimiento, las actividades programadas deben estar basadas en los catálogos y manuales de fabricantes, la experiencia de los operadores y técnicos encargados, historial de los activos y de información de tiempos picos, bajos y paradas obligadas de producción.

³ BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. Bogotá: SENA, 1991. 90p.

Los elementos del proceso operativo de un mantenimiento preventivo se pueden clasificar en la planeación, programación, ejecución, reporte e indicadores de desempeño.

2.3.1 Planeación: La planeación del mantenimiento permite establecer el alcance del proyecto mediante procedimientos, normas o procesos con los recursos necesarios de personal, equipos, herramientas y materiales durante un tiempo específico de acción. El planeador determina los pasos y operaciones previstas necesarias para completar la tarea. Se deben contemplar aspectos como check list, detalle de órdenes de trabajo, hoja de vida de activos, plan específico de trabajo y reportes de grupo de análisis.

2.3.2 Programación: La programación de trabajos de mantenimiento brinda logística y coordinación a las tareas por medio de un cronograma de acuerdo a la criticidad y prioridad del trabajo.

El control del trabajo y la retroalimentación por medio de indicadores de desempeño son la clave para alcanzar las metas del programa de mantenimiento.

2.3.3 Ejecución: “Ejecutar es poner en funcionamiento todo lo planeado y organizado hasta el momento”⁴.

Para alcanzar los objetivos planteados es necesario que en la puesta en marcha del programa haya motivación, comunicación asertiva entre los miembros de la empresa y una buena coordinación para que los “esfuerzos del grupo estén sincronizados y sean ejecutados en el momento, cantidad y dirección exacta”⁵.

⁴ BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. Bogotá: SENA, 1991. 90p.

⁵ Ibídem

2.3.4 Control: El control del trabajo y la retroalimentación por medio de indicadores de desempeño son la clave para alcanzar las metas del programa de mantenimiento.

2.3.5 Ventajas del mantenimiento preventivo: Algunas de las ventajas de implementar un mantenimiento preventivo son: la conservación óptima de condiciones de trabajo de los equipos, menor desperdicio de materia prima, cumplimiento del calendario programado, reducción de la improductividad de los equipos disminuyendo costos de operación y producción sin interrupciones inesperadas. También las personas encargadas de esta labor se sentirán más satisfechas y su motivación al trabajar aumentará.

2.4 ANÁLISIS DE PARETO

También llamado diagrama de Pareto o curva 80-20, es una herramienta estadística que permite determinar las principales causas que generan una situación específica, aplicando el principio de Pareto que dice que el 20% de las causas genera el 80% de las consecuencias.

La implementación del análisis de Pareto otorga los siguientes beneficios:

- Enfoca los recursos y esfuerzos hacia puntos críticos.
- Ayuda a dar prioridad y organizar las áreas de oportunidad.
- Promueve la comunicación y el trabajo en equipo ya que para su ejecución se necesita la participación de todas las personas en contacto con el área del problema.
- Es aplicable para cualquier situación en la que se busca una mejora.
- Permite medir el impacto de las acciones de mejora, comparando el antes y después del trabajo.

3. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA EMPRESA

Antes de empezar a implementar un programa de mantenimiento, cualquiera que sea, hay que conocer cómo es el funcionamiento y las actividades que se realizan dentro de la compañía. Es muy importante saber si la empresa está ejerciendo algún tipo de mantenimiento, y si ese es el caso, determinar si esta gestión se realiza adecuadamente o no.

La empresa Paneles Estructurales S.A.S – FORMADCOL actualmente está implementando un mantenimiento correctivo a la mayor parte de sus activos y en un pequeño porcentaje efectúa el mantenimiento preventivo.

Es de vital importancia conocer si la empresa está cumpliendo el principal objetivo del mantenimiento que es obtener una máxima disponibilidad al mínimo costo.

Por medio de una auditoría es posible comprobar si la gestión del mantenimiento se está realizando de la mejor forma posible, comparándola con un departamento modelo o ideal. La auditoría “permite saber en qué situación se encuentra un departamento de mantenimiento en un momento determinado, identificar puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados.”⁶

3.1 MODELO DE AUDITORÍA

El modelo implementado para evaluar la empresa Paneles Estructurales S.A.S – FORMADCOL será el planteado por Fernando Espinosa Fuentes docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de TALCA⁷

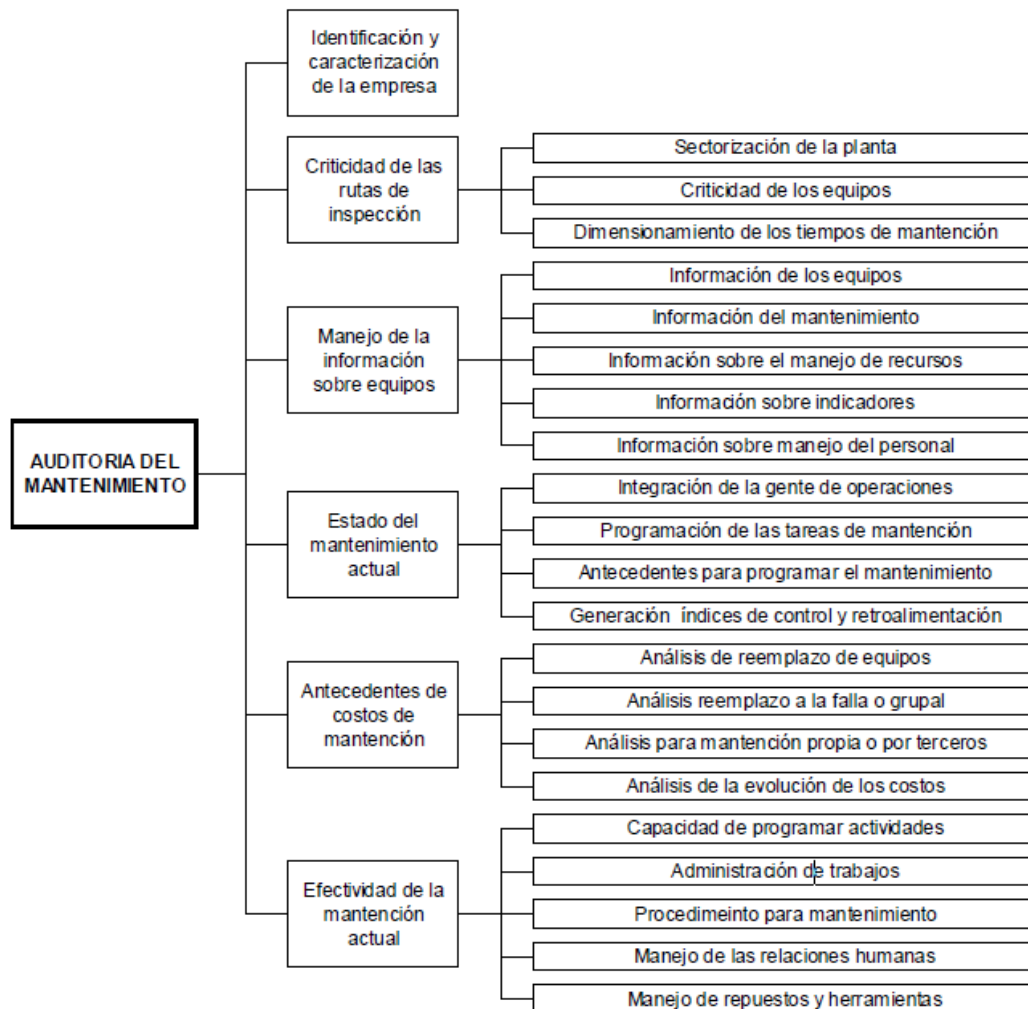
⁶ GARCÍA, Santiago. Auditorías de mantenimiento. Renovetec, 2009

⁷ ESPINOSA, Fernando. Auditoría para la efectividad del mantenimiento. Universidad de Talca

Este modelo cuenta con 6 aspectos principales que permiten cubrir todos los campos de una buena gestión de mantenimiento. Ver figura 7.

- **Identificación y caracterización de la empresa:** Brinda información clave para que las acciones de mejoramiento que se recomienden sean acorde con la estructura, forma y prácticas de mantenimiento de la organización.
- **Criticidad de las rutas de inspección:** Permite asignar prioridades en la ejecución de tareas mediante la identificación de la criticidad de activos y el tiempo estipulado del mantenimiento.
- **Manejo de la información sobre equipos:** Evalúa el grado de conocimiento acerca de los recursos de información para realizar una planificación acertada mediante el uso de catálogos, fichas de inventario, tasas de falla, e identificación del personal.
- **Estado del mantenimiento actual:** Esta sección de preguntas evalúa a la empresa en cómo se está implementando el mantenimiento actual mediante aspectos como la existencia de rutinas, recopilación de intervenciones realizadas y la relación de horas de mantenimiento.
- **Antecedentes de costos de mantenimiento:** Esta sección hace referencia a los costos de adquisición de los activos, la tasa de depreciación, el costo de la mano de obra y los costos alternativos.
- **Efectividad del mantenimiento actual:** Este conjunto de preguntas abarca aspectos tales como el cumplimiento de los programas, la efectividad de los procedimientos y nivel de capacitación del personal, permitiendo medir los indicadores de control para tener un punto de referencia sobre la evolución de la efectividad de los recursos del mantenimiento.

Figura 7. Estructura del proceso de auditoría del mantenimiento



Fuente: ESPINOSA, Fernando. Auditoría para la efectividad del mantenimiento. Universidad de Talca

3.2 PROCESO DE APLICACIÓN DE LA AUDITORÍA

Para obtener unos resultados confiables en la auditoría y que realmente ayuden en el proceso de mejoramiento del programa de mantenimiento de la empresa, no

basta solo en aplicar el cuestionario pre-elaborado, es necesario hacer algunas tareas previas y complementarias descritas a continuación:

3.2.1 Estrategia, visión y misión: El auditor debe entender y comprender la estrategia, misión y visión de cada nivel de la empresa. Se debe saber cuáles son los planes y actividades para alcanzar y apoyar estas metas.

La empresa Paneles Estructurales S.A.S tiene como misión ofrecer un producto que cumpla con los más altos estándares de calidad brindando un excelente servicio de alquiler y encofrado metálico para construcción⁸. Respondiendo a esto, la gestión de mantenimiento tiene como función tener una producción constante que ayude a suplir la demanda generada.

3.2.2 Reconocimiento del lugar: El auditor debe conocer en terreno la planta completa. De esta manera se puede conocer el funcionamiento de la empresa, la operación del mantenimiento y los usuarios de los servicios que entrega mantenimiento.

Durante el desarrollo del proyecto se tuvo una interacción constante con el personal encargado del mantenimiento antes, durante y después de la auditoría. Se pudo conocer a fondo las instalaciones de la empresa y las áreas donde se lleva a cabo la gestión del mantenimiento.

3.2.3 Entrevistas: Las entrevistas son muy importantes en la etapa de investigación y conocimiento de la empresa. Se puede saber el punto de vista del personal encargado al mantenimiento con respecto a los aspectos por mejorar.

⁸ Fuente. FORMADCOL. [En línea]. [Consultado el 23 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.formadcol.com/>

3.2.4 Recolección de datos: La recolección de datos durante la auditoría debe ser justificada mediante los soportes de registros históricos del equipamiento, del costo del trabajo y materiales, movimientos de inventarios, índices para medir la eficiencia, etc. Estos datos recolectados son con el fin de reflejar el estado actual de la empresa.

Los datos registrados en la auditoría se pueden respaldar mediante el archivo físico de la empresa, el cuál presenta hojas de vida de los activos y el cronograma de actividades de mantenimiento.

3.2.5 Sistema de mantenimiento: En esta etapa se debe hacer un seguimiento al proceso utilizado en mantenimiento desde su emisión, programación, determinación de requerimientos de repuestos y mano de obra hasta que se entrega conforme el trabajo.

En esta etapa se pudo evidenciar las fallas de planeación, organización y control en el proceso de mantenimiento. Se evidenció un inadecuado registro en las hojas de vida de las intervenciones realizadas a los equipos y la falta de control en la ejecución de tareas en el tiempo establecido.

3.2.6 Compilación y análisis: Teniendo en cuenta todo lo recopilado en las etapas anteriores, es necesario organizar y documentar la información. Se deben plantear las recomendaciones para un cambio positivo de todos los problemas que la auditoría detectó.

3.3 EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El modelo de la auditoría abarca 83 preguntas las cuales se valoran con un puntaje “1” cuando la situación es mala o desfavorable, “3” para situaciones regulares o

que pueden ser rescatables y con nota “5” cuando esta está bien implementada o cumple con su objetivo.

Mediante el valor promedio del conjunto de preguntas para cada aspecto global se puede tener una apreciación de los aspectos mal calificados para proceder con su mejoramiento.

Tabla 2. Criterio definición de calidad del mantenimiento

Criterio para definir la calidad del mantenimiento
$1,0 \leq \text{puntaje} \leq 1,6$: Aspecto con deficiencias
$1,6 < \text{puntaje} \leq 3,3$: Aspecto regular
$3,3 < \text{puntaje} \leq 5,0$: Aspecto bien implementado

Fuente: ESPINOSA, Fernando. Auditoría para la efectividad del mantenimiento. Universidad de Talca

3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA AUDITORÍA

La auditoría fue realizada al ingeniero Gabriel González director del área de producción y mantenimiento de la empresa. Los resultados se pueden observar en las siguientes tablas junto con la puntuación obtenida para cada ítem.

El formato implementado fue el sugerido por el profesor Fernando Espinosa, de su libro Auditoría para la efectividad del mantenimiento. Ver anexo A.

Tabla 3. Identificación y caracterización de la empresa.

AUDITORÍA PARA LA EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO			
A. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA			
A1	Nombre de la empresa	Formadcol	
A2	Fecha de la auditoría	13/09/2017	
A3	Nombre encargado del mantenimiento	Gabriel Gonzalez	
A4	¿Posee Depto de mantenimiento?	Sí	x
		No	
A5	Dependencia del Depto de mantenimiento	Jerarq. Propia	Depend. Produc.
			x
A6	Realización del mantenimiento	Contratista	Operarios equipo
			x
A7	¿Cómo clasifica el mantenimiento?	Correctiva	Preventiva
			x
A8	¿Posee bodega de repuestos?	Sí	
		No	x
A9	Dependencia de la bodega	Mantenimiento	Producción
			x
A10	Satisfacción del abastecimiento	Bueno	Regular
			x
Observaciones y comentarios			
El mantenimiento correctivo se hace por medio de un contratista. El preventivo se realiza internamente.			

Tabla 4. Criticidad de rutas de inspección

B. CRITICIDAD DE RUTAS DE INSPECCIÓN				
N°	CRITERIO	Ninguno	Parcialmente	Todos
		1	3	5
B1	¿Tiene las tareas de producción separadas por algún criterio?			x
B2	¿Tiene identificados por algún código sus equipos?			x
B3	¿Tiene clasificado sus equipos según su criticidad ante una falla?	x		
B4	¿Puede cuantificar la incidencia de la falla de un equipo sobre otros?			x
B5	¿Tiene un layout de planta que describa e identifique todos los equipos?	x		
B6	¿Tiene líneas en paralelo en su sistema de producción?	Sí	x	
		No		
B7	¿Tiene identificadas las líneas según su criticidad para el proceso?	Sí	x	
		No		
B8	¿Alguno de los equipos produce cuello de botella?	Sí	x	
		No		
B9	¿Tiene identificado para cada equipo los riesgos para el operario?			x
B10	¿Sabe cuanto tiempo toma cada proceso de la línea de producción?			x
B11	¿Tiene estipulado tiempos estándares para el mtto de equipos?	x		
B12	¿Tiene calculado el volumen de trajos de mtto que puede hacer?	x		
Observaciones y comentarios:				

Tabla 5. Manejo de la información sobre equipos

C. MANEJO DE LA INFORMACIÓN SOBRE EQUIPOS				
N°	CRITERIO	Ninguno	Parcialmente	Todos
		1	3	5
C1	¿Posee los catálogos e información técnica de todos los equipos?		x	
C2	¿Posee fichas de inventario para cada equipo?			x
C3	¿Tiene procedimientos de trabajos de mantenimiento establecidos?		x	
C4	¿Posee cada equipo un programa de trabajos de mantenimiento?			x
C5	¿Posee registros de los mantenimientos para cada equipo?			x
C6	¿Tiene registros de tiempo de cada mantenimiento realizado?			x
C7	¿Tiene un registro de la disponibilidad de repuestos en bodega?	x		
C8	¿Tiene clasificado su stock de repuestos por algún criterio?	x		
C9	¿Tiene un registro de los implementos usados para el mtto?	x		
C10	¿Sabe cuál es la tasa de fallas de cada equipo?	x		
C11	¿Puede determinar la confiabilidad de cada equipo?		x	
C12	¿Tiene clasificados a los proveedores de partes y piezas?			x
C13	¿Tiene registros de los operarios que trabajan en los equipos?			x
C14	¿Tiene un programa de capacitación completo implementado?	x		
C15	¿Tiene información precisa para llevar índices de control de eficiencia?			x
Observaciones y comentarios:				

Tabla 6. Estado del mantenimiento actual

D. ESTADO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL				
N°	CRITERIO	Ninguno	Parcialmente	Todos
		1	3	5
D1	¿Se revisan todos los equipos cada vez que comienza un turno?	x		
D2	¿Los operadores de los equipos realizan tareas simples de mtto ?			x
D3	¿Se tiene una rutina preestablecida de intervenciones diaria?		x	
D4	¿Se mantiene una bitácora de mantenimientos diarios?	x		
D5	¿Se sabe cuanto tiempo se requiere para hacer el diagnóstico de una falla?	x		
D6	¿Sabe cuanto es el tiempo de abastecimiento para los repuestos?		x	
D7	¿Sabe exactamente el número de trabajos pendientes por período?			x
D8	¿Tiene control sobre las horas extras necesarias para terminar trabajos?	x		
D9	¿Tiene algún criterio para dar prioridad en la ejecución de trabajos?			x
D10	¿La información capturada en terreno es legible, util y oportuna?			x
D11	¿Tiene un registro de trabajos de emergencia y programados?			x
D12	¿Tiene cuantificado el tiempo de producción perdido por fallas?	x		
D13	¿Tiene cuantificado el tiempo que se demora en hacer efectivo el mtto?	x		
D14	¿Mantiene un control sobre el tiempo empleado en reparaciones?	x		
D15	¿Compara el tiempo real con el tiempo estipulado en las órdenes de trabajo?	x		
Observaciones y comentarios:				

Tabla 7. Antecedentes de costos de mantenimiento

E. ANTECEDENTES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO				
N°	CRITERIO	Ninguno	Parcialmente	Todos
		1	3	5
E1	¿Sabe en que año adquirió cada uno de sus equipos?		x	
E2	¿Sabe el valor de adquisición de cada uno de sus equipos?			x
E3	¿Tiene definida la tasa de depreciación de cada equipo?		x	
E4	¿Sabe con exactitud cuál es el costo de los repuestos en cada equipo?	x		
E5	¿Sabe con exactitud cuál es el costo de la mano de obra de mtto?	x		
E6	¿Sabe con exactitud cual es el costo de pérdida de producción por falla?	x		
E7	¿Evalúa anualmente el reemplazo de los equipos a su cargo?		x	
E8	¿Sabe la razón de costos entre mtto y costo total del producto?		x	
E9	¿Tiene una relación de cantidad entre personal de mtto y producción?	x		
E10	¿Puede medir la desviación entre el costo real y el costo presupuestado?	x		
E11	¿Lleva un control de gastos de mtto por equipo?	x		
E12	¿Lleva un control estadístico de los gastos de mtto por equipo?	x		
E13	¿Puede definir el tamaño del inventario para una disponibilidad del equipo?	x		
E14	¿Sabe donde es más rentable subcontratar que trabajar con recursos propios ?		x	
E15	¿Puede definir las políticas de mtto en base a los costos alternativos ?	x		
Observaciones y comentarios:				

Tabla 8. Efectividad del mantenimiento actual

F. EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO ACTUAL				
N°	CRITERIO	Ninguno	Parcialmente	Todos
		1	3	5
F1	¿Sabe cuál es la relación de paros programados y paros imprevistos?	x		
F2	¿Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento?		x	
F3	¿Se lleva un control del estado de avance de las ordenes de trabajo (O.T.) ?		x	
F4	¿Conoce el lapso de tiempo medio entre el aviso de la falla y la emisión de la O.T ?			x
F5	¿Conoce el tiempo medio de aprobación de una orden de trabajo ?			x
F6	¿Tiene definidos los procedimientos para realizar el mtto preventivo ?			x
F7	¿Tiene definidos los procedimientos para enfrentar el mtto correctivo ?	x		
F8	¿Sabe cuál es la relación de trabajos pendientes y trabajos programados ?			x
F9	¿Sabe cuál es la relación de tiempo extra y tiempo para trabajos programados ?	x		
F10	¿Cómo es la relación entre la gente de operación y la gente de mtto ?			x
F11	¿Cómo es la actitud de la administración superior hacia mantenimiento ?			x
F12	¿Cómo es la colaboración de los departamentos relacionados con mtto ?			x
F13	¿Considera que el nivel de capacitación es acorde a la tecnología del equipamiento ?	x		
F14	¿Cómo considera el nivel de rotación del personal de mantenimiento ?	x		
F15	¿Son suficientes las herramientas y equipos de trabajo para el mtto ?		x	
F16	¿Tiene definido el punto de equilibrio de la cantidad de repuestos en bodega?	x		
Observaciones y comentarios:				
La persona encargada del mantenimiento es el mismo operador de la máquina				

3.5 PONDERACIÓN DE RESULTADOS

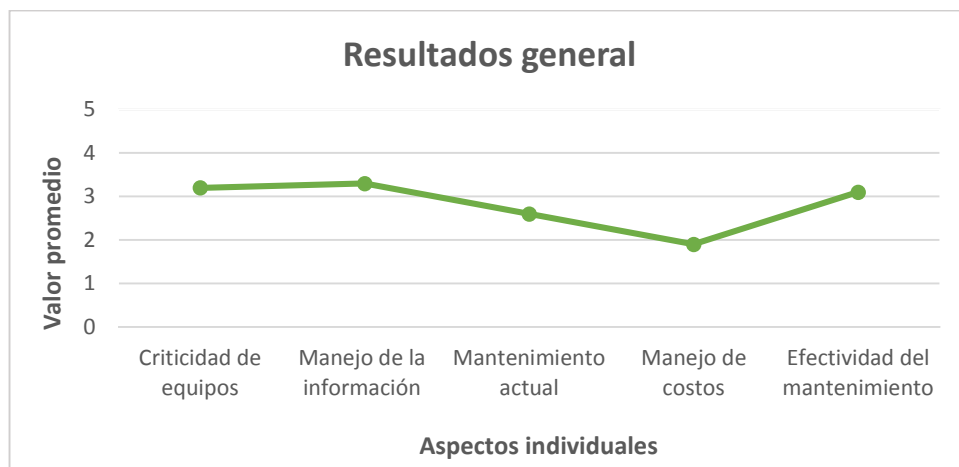
Se tabulan y grafican los resultados de la auditoría de acuerdo a la puntuación obtenida. Primero se da una visión general de los aspectos por mejorar en la compañía y seguidamente se evalúa detalladamente cada ítem.

3.5.1 Resultados generales:

Tabla 9. Aspectos generales

Aspectos considerados	Valor	Calificación
Criticidad de equipos	3,2	Aspecto regular
Manejo de la información	3,3	Aspecto regular
Mantenimiento actual	2,6	Aspecto regular
Manejo de costos	1,9	Aspecto regular
Efectividad del mantenimiento	3,1	Aspecto regular

Figura 8. Resultados generales



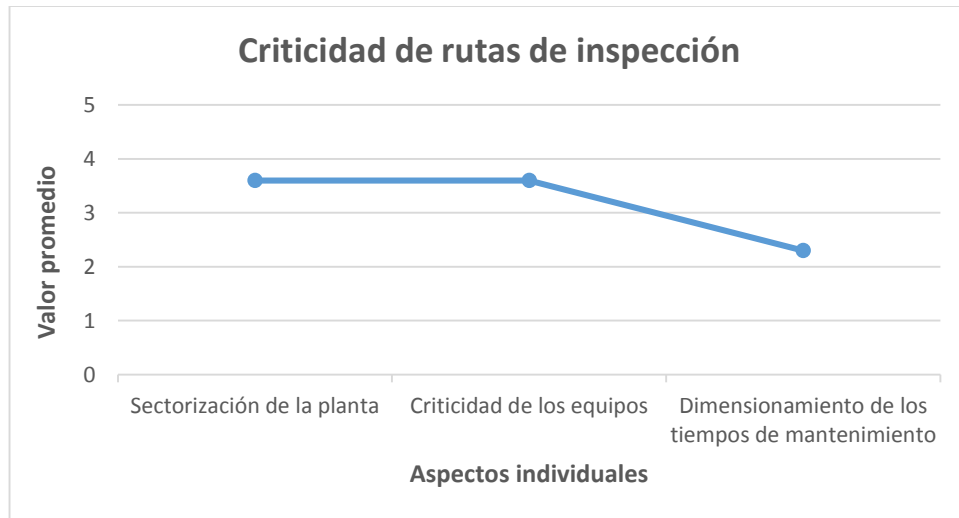
Se puede observar que todos los aspectos evaluados presentan fallas a la hora de implementarlos y se encuentran en un estado regular. El aspecto más crítico es el manejo de costos. Es importante analizar cada aspecto de forma detallada para identificar mejor las fallas.

3.5.2 Criticidad de rutas de inspección:

Tabla 10. Evaluación criticidad de rutas de inspección

B. CRITICIDAD DE RUTAS DE INSPECCIÓN			
Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
B1,B2,B5,B6	Sectorización de la planta	3,6	Aspecto bien implementado
B3,B4,B7,B8,B9	Criticidad de los equipos	3,6	Aspecto bien implementado
B10,B11,B12	Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento	2,3	Aspecto regular

Figura 9. Resultados criticidad de rutas de inspección



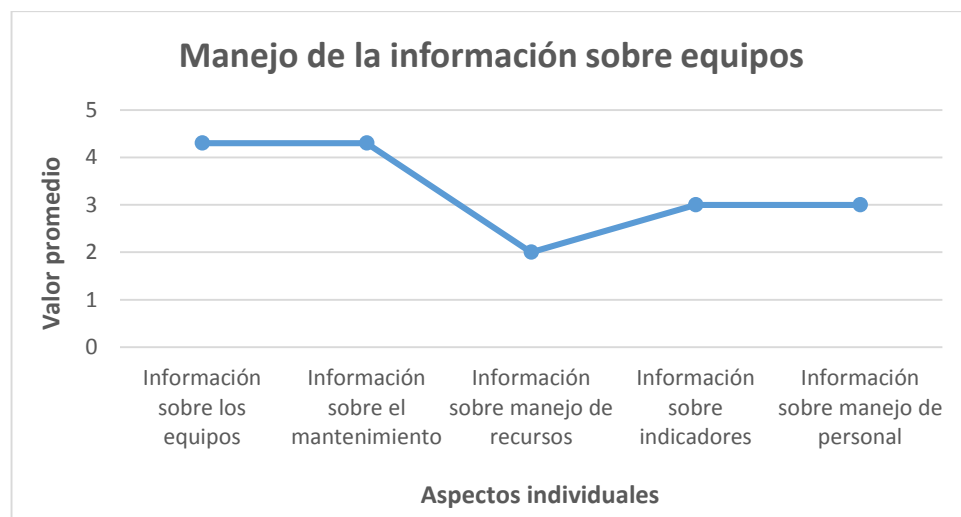
Los aspectos de sectorización de la planta y de criticidad de equipos se están implementando de buena manera en la planta. Estos ítems hacen referencia a la codificación de equipos, clasificación de tareas, identificación de riesgos para el operario y cuantificación de la incidencia de falla de un equipo sobre otro. El aspecto que presenta deficiencias y que hay que mejorar tiene que ver con el poco conocimiento que se tiene acerca del tiempo y capacidad de trabajo empleado en las tareas de mantenimiento.

3.5.3 Manejo de la información sobre equipos:

Tabla 11. Evaluación manejo de la información sobre equipos

C. MANEJO DE LA INFORMACION SOBRE EQUIPOS			
Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
C1,C2,C4	Información sobre los equipos	4,3	Aspecto bien implementado
C3,C5,C6	Información sobre el mantenimiento	4,3	Aspecto bien implementado
C7,C8,C9,C12	Información sobre manejo de recursos	2	Aspecto regular
C10,C11,C15	Información sobre indicadores	3	Aspecto regular
C13,C14	Información sobre manejo de personal	3	Aspecto regular

Figura 10. Resultados manejo de la información sobre equipos



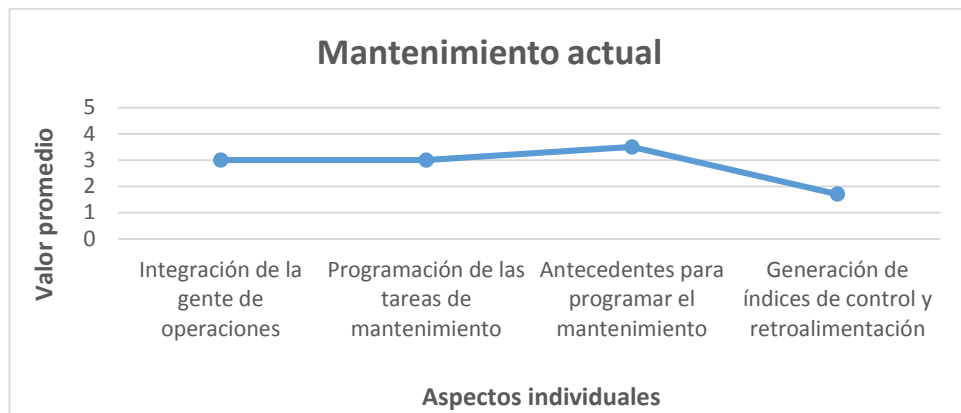
Podemos observar que la empresa implementa bien los aspectos de información sobre equipos y el mantenimiento. La empresa posee un inventario y catálogos para cada equipo; también llevan un registro del mantenimiento realizado en los activos. Por el contrario, la información sobre el manejo de recursos presenta grandes deficiencias debido a que no existe un stock de repuestos. La información sobre indicadores y manejo del personal son aspectos que se pueden mejorar.

3.5.4 Estado del mantenimiento actual:

Tabla 12. Evaluación estado del mantenimiento actual

D. ESTADO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL			
Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
D1,D2	Integración de la gente de operaciones	3	Aspecto regular
D3,D4,D10	Programación de las tareas de mantenimiento	3	Aspecto regular
D5,D6,D7,D9	Antecedentes para programar el mantenimiento	3,5	Aspecto regular
D8,D11,D12,D13,D14	Generación de índices de control y retroalimentación	1,7	Aspecto regular

Figura 11. Resultados estado del mantenimiento actual



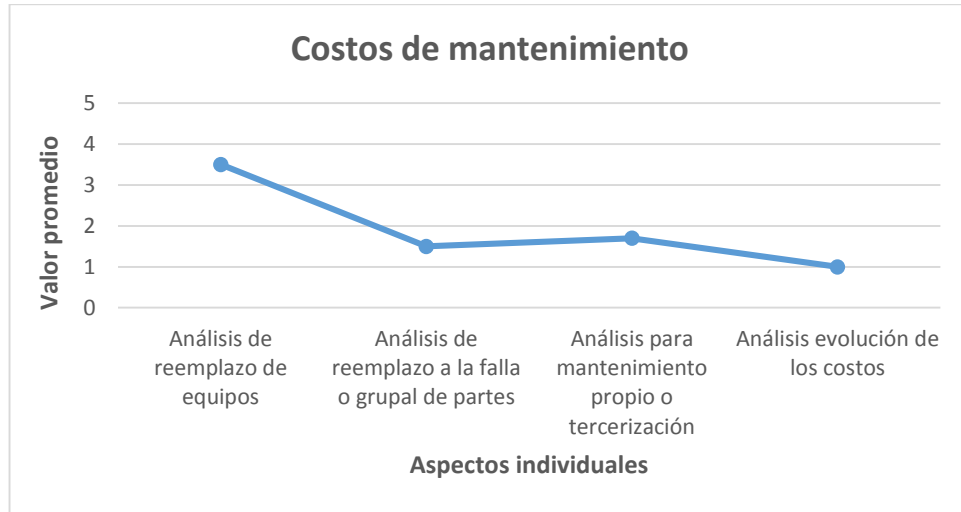
El mantenimiento actual presenta algunas fallas como por ejemplo que no se tiene una bitácora ni una rutina preestablecida del mantenimiento diario en las máquinas. Además, no se tiene control sobre la ejecución de las órdenes de trabajo ni información que permita generar índices de control y retroalimentación.

3.5.5 Antecedentes de costos de mantenimiento:

Tabla 13. Evaluación de antecedentes de costos de mantenimiento

E. ANTECEDENTES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO			
Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
E1,E2,E3,E7	Análisis de reemplazo de equipos	3,5	Aspecto regular
E4,E5,E6,E8	Análisis de reemplazo a la falla o grupal de partes	1,5	Aspecto con deficiencias
E9,E14,E15	Análisis para mantenimiento propio o tercerización	1,7	Aspecto regular
E10,E11,E12,E13	Análisis evolución de los costos	1	Aspecto con deficiencias

Figura 12. Resultados de antecedentes de costos de mantenimiento



La empresa realiza un análisis aceptable a la hora de decidir sobre el remplazo o compra de un nuevo activo, sin embargo, es una tarea que se puede mejorar.

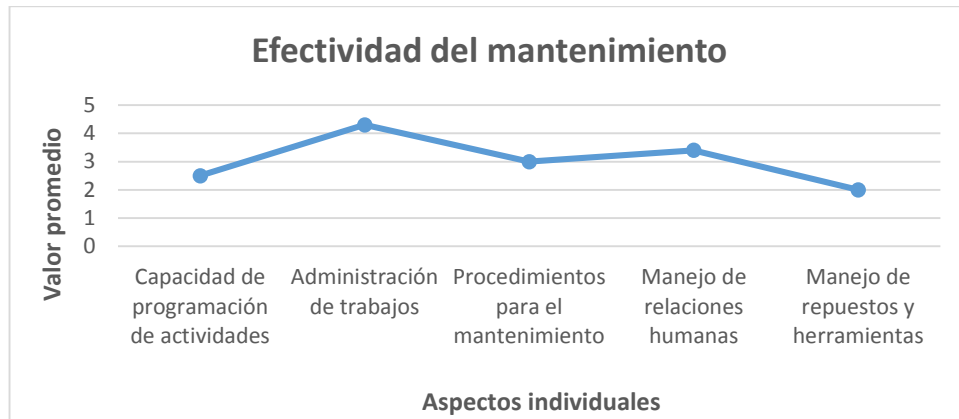
Se presentan muchas deficiencias sobre los costos de mantenimiento. No se tiene un conocimiento específico sobre los costos de mano de obra, de repuestos ni de pérdida de producción por falla de algún equipo; tampoco se lleva un control sobre los gastos de mantenimiento por equipo y no se hace un análisis de donde es más rentable subcontratar que trabajar con recursos propios.

3.5.6 Efectividad del mantenimiento actual:

Tabla 14. Evaluación efectividad del mantenimiento actual

F. EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO ACTUAL			
Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
F1,F2,F8,F9	Capacidad de programación de actividades	2,5	Aspecto con deficiencias
F3,F4,F5	Administración de trabajos	4,3	Aspecto bien implementado
F6,F7	Procedimientos para el mantenimiento	3	Aspecto regular
F10,F11,F12,F13,F14	Manejo de relaciones humanas	3,4	Aspecto regular
F15,F16	Manejo de repuestos y herramientas	2	Aspecto regular

Figura 13. Resultado efectividad del mantenimiento actual



La empresa está implementando de buena forma el aspecto de administración de trabajos. La administración superior y los demás departamentos de la compañía muestran su colaboración y respaldo al departamento de mantenimiento; sin embargo los procedimientos para los mantenimientos correctivo y preventivo no están muy bien definidos y presentan fallas; además no se cuenta con una capacitación para los trabajadores acorde con la tecnología del equipamiento y no se hace rotación del personal de mantenimiento.

3.5.7 Conclusión: La auditoría realizada a la empresa Paneles Estructurales S.A.S – FORMADCOL permitió identificar las mayores debilidades que presenta la actual gestión de mantenimiento. Este proyecto busca brindar una ayuda para mejorar estos aspectos deficientes.

La figura 14 muestra el resultado de cada uno de los aspectos de la auditoría. Los que se encuentran en el área roja son los aspectos que presentan deficiencias, los del área amarilla muestran irregularidades y los del área verde están bien implementados. Así mismo, en la tabla 15 se plantean algunas propuestas para dar solución a estas deficiencias. Estas propuestas van a ser ejecutadas con la ayuda de este proyecto.

Figura 14. Resultados aspectos de la auditoría

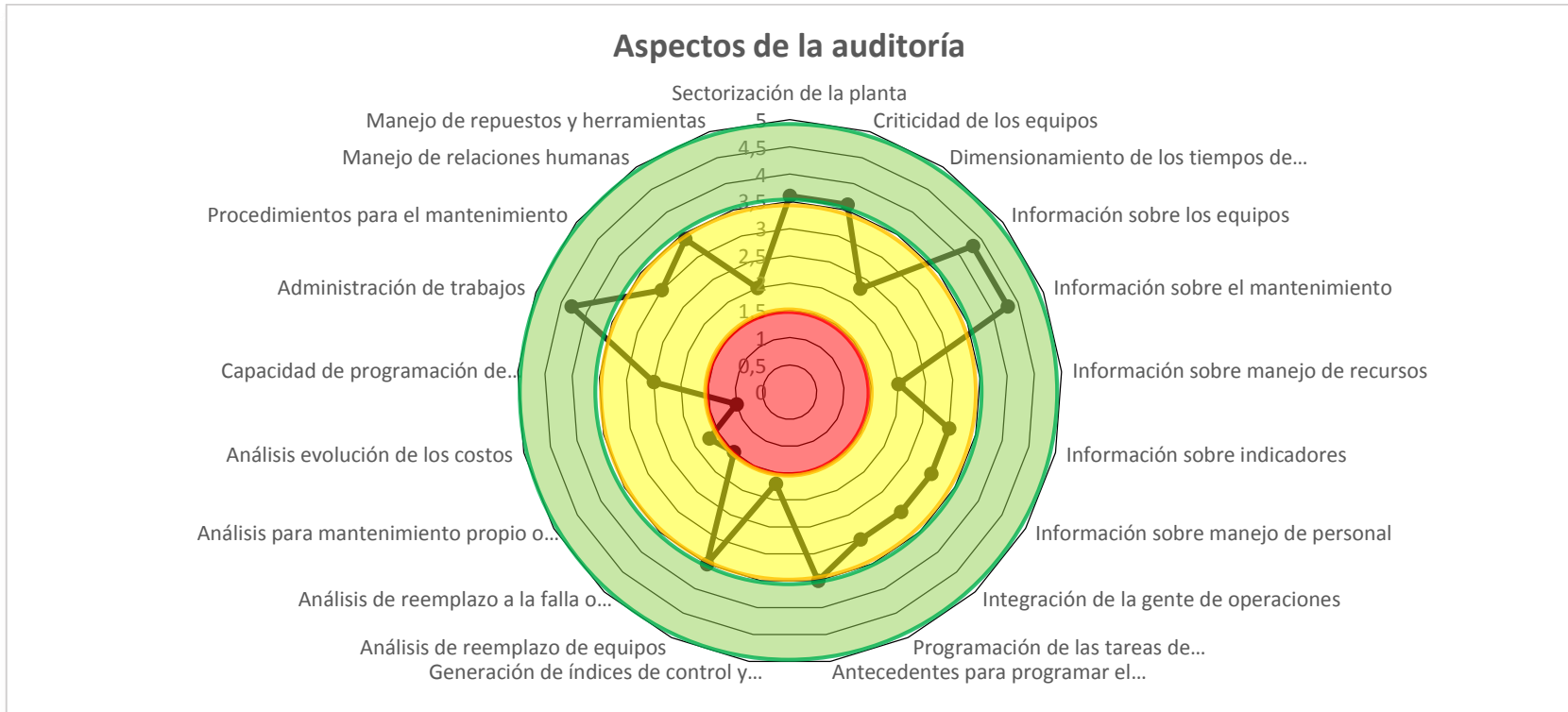


Tabla 15. Propuestas de mejora

ASPECTO DEFICIENTE O POR MEJORAR	CONDICIÓN ACTUAL	PROPUESTA DE MEJORA
Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento	No se tiene estipulado los tiempos ni el volumen de trabajo para el mantenimiento de equipos	Llevar el control de las intervenciones de mantenimiento en el historial de cada equipo.
Información sobre indicadores	No se conoce la tasa de fallas de cada equipo	Registrar en el sistema de información cada una de las fallas presentes en los equipos para generar indicadores de disponibilidad
Integración de la gente de operaciones	No revisan todos los equipos cada vez que comienza un turno	Implementar check lists que permitan llevar el control diario de los equipos.
Capacidad de programación de actividades	No siempre se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento	Cumplir con todas las tareas de mantenimiento en el tiempo establecido a través del cronograma de actividades, para ello el software genera alarmas de advertencia para cumplir con la fecha propuesta.
Análisis evolución de los costos	No se lleva un control de gastos de mantenimiento.	Generar índices que controlen los costos de mantenimiento mediante la implementación del software de mantenimiento.
Análisis de reemplazo a la falla o grupal de partes	No se sabe con exactitud cuál es el costo de los repuestos en cada equipo ni el costo de mano de obra	Recopilar el costo que conlleva la reparación de activos (horas hombre, repuestos) en el sistema de información.
Generación de índices de control y retroalimentación	No se tiene cuantificado el tiempo de producción perdido por fallas ni el tiempo que se demora en hacer efectivo el mantenimiento.	Implementar un plan de mantenimiento preventivo que sea capaz de cuantificar las pérdidas en producción por fallas y el tiempo que demora cada mantenimiento .
Información sobre manejo de recursos	No se tiene un registro de la disponibilidad de repuestos en bodega. No se cuenta con un stock de repuestos.	Crear un listado de stock con máximos y mínimos que debe poseer la bodega con su respectiva codificación.
Procedimientos para el mantenimiento	No se tiene bien definidos los procedimientos para realizar el mantenimiento correctivo y preventivo	Determinar con exactitud los procedimientos de mantenimiento mediante órdenes de trabajo. Con la ayuda del sistema de información, llevar control para el cumplimiento de dichas tareas.
Manejo de repuestos y herramientas	No se tiene definido el punto de equilibrio de la cantidad de repuestos en bodega	Determinar la cantidad de repuestos que deben haber en stock mediante el módulo de inventarios

4. ESTRUCTURACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Para la correcta implementación de rutinas y tareas de mantenimiento se plantea la creación de una estructura organizacional basada en un mantenimiento centralizado. Para la organización de un departamento de mantenimiento que se encuentre a un mismo nivel junto con producción y ventas, y que de esta manera el mantenimiento deje de ser una sub-tarea del departamento de producción, se debe utilizar un criterio de departamentalización⁹.

Se debe tener en cuenta que no existe un criterio ideal o único para la repartición de tareas y que diferentes organizaciones de similar estructura y tipo de negocio pueden estructurar el mantenimiento con base en diferentes criterios y ambas ser efectivas en la ejecución del mismo.

Una departamentalización funcional es el criterio más ampliamente usado en las organizaciones, la división se realiza a partir de las funciones a desempeñar. Con base en esto se plantea la creación de 3 cargos: Jefe de mantenimiento y reparaciones, técnico electricista y técnico electromecánico.

En la figura 15 se puede ver el organigrama de la empresa. De igual manera, en el Anexo B se puede ver el manual de funciones y la descripción de cada cargo.

4.1 JEFE DE MANTENIMIENTO¹⁰

El jefe de mantenimiento y reparaciones debe ser el encargado de controlar la ejecución de las actividades de mantenimiento, tales como inspección, limpieza,

⁹ BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. Bogotá: SENA, 1991. 90p.

¹⁰Descripción general de funciones jefe de mantenimiento y reparaciones. Universidad de los Andes. [En línea]. Disponible en: http://www.ula.ve/personal/cargos_unicos/jefe_manteni_y_reparaciones.htm

lubricación y cambios de piezas. También se encarga de distribuir y supervisar los trabajos del personal a su cargo.

Funciones y tareas:

- Planificar las actividades de mantenimiento a llevar a cabo.
- Designar personal para realizar las actividades programadas.
- Supervisar el mantenimiento de los activos.
- Estimar tiempo y costos de las labores de mantenimiento.
- Llevar el control de los inventarios y repuestos.
- Proveer los materiales y recursos necesarios a sus colaboradores.
- Realizar inspecciones de los equipos para la detección de fallas y procesos de mejora.
- Planificar, coordinar y controlar las labores de mantenimiento preventivo y correctivo sobre la maquinaria de la organización.
- Llevar un control sobre las horas de trabajo, asistencia y permisos de sus subordinados.
- Verificar la calidad de las acciones e intervenciones sobre los equipos.
- Detectar problemas y retrasos en los trabajos que se ejecuten y decidir la solución más conveniente.
- Contactar proveedores de repuestos y piezas.
- Generar reportes sobre las labores ejecutadas.

El cargo puede ser asumido por un ingeniero o técnico en mantenimiento industrial que posea conocimientos de métodos, herramientas y materiales aplicados al mantenimiento. Debe tener habilidad para la inspección de los activos y ser capaz de dar órdenes y supervisar a su personal a cargo.

4.2 TÉCNICO ELECTRICISTA¹¹

Se debe encargar de mantener en condiciones operativas los dispositivos y artefactos eléctricos que presentan los diferentes equipos en la planta, además de recibir órdenes de trabajo directamente del jefe de mantenimiento y reparaciones.

Funciones y tareas:

- Instalar y mantener máquinas y motores eléctricos.
- Estipular la corriente que requieren los motores.
- Situar lámparas de distintos tipos requeridos.
- Reparar breakers, contactores y temporizadores.
- Verificar los sistemas eléctricos de los equipos.
- Ubicar el cableado requerido y demás condiciones necesarias para la instalación de equipos.
- Instalar controles para motores eléctricos.
- Construir arrancadores tipo estrella, triángulo y reversibles.
- Generar de forma periódica informes sobre las actividades realizadas.
- Efectuar cualquier otra tarea a fin que le sea encomendada.

El cargo debe ser asumido por un técnico superior o medio en electricidad con experiencia superior a 5 años en el área. Debe poseer conocimientos en electricidad y cálculo de corrientes eléctricas así como destrezas en el manejo de instrumentos para la reparación de equipos eléctricos.

¹¹Descripción general de funciones técnico electricista. Universidad de los Andes. [En línea]. Disponible en: http://www.ula.ve/personal/cargos_unicos/tecnico_electrisista.htm

4.3 TÉCNICO ELECTROMECAÁNICO¹²

Es el encargado de mantener en condiciones operativas los equipos de la planta realizando reparaciones y mantenimiento de equipos electromecánicos con el fin de que estos estén disponibles y operando correctamente cuando producción los requiera.

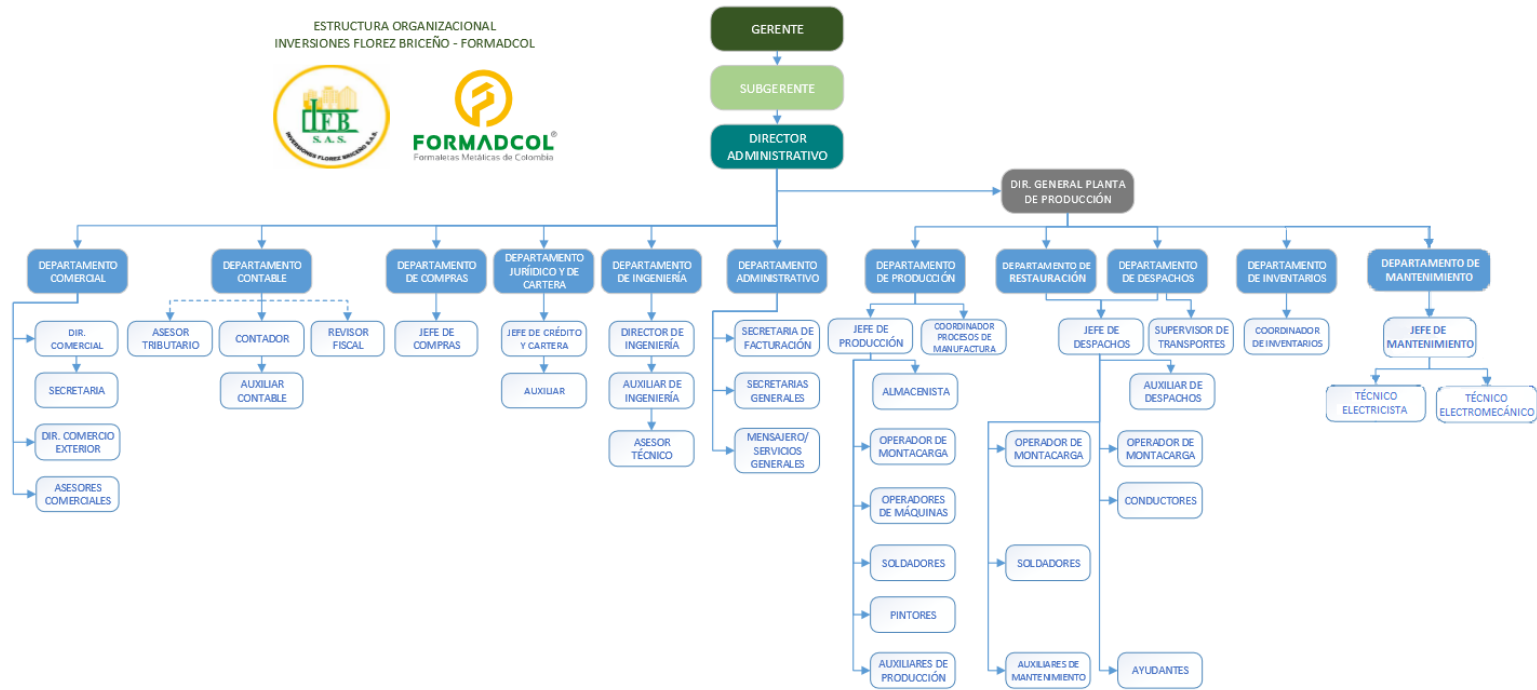
Funciones y tareas:

- Realizar reparaciones eléctricas y mecánicas de los diferentes equipos.
- Fabricar piezas de manufactura sencillas para repuestos.
- Instalar y desmontar maquinaria.
- Transformar sistemas electromecánicos para simplificarlos.
- Inspeccionar las instalaciones y corregir los desperfectos hallados.
- Efectuar programas de mantenimiento a realizar.
- Seleccionar los materiales y recursos necesarios para realizar una reparación.
- Generar informes periódicos sobre las acciones realizadas.
- Mantener de forma organizada su espacio de trabajo y reportar anomalías.
- Llevar a cabo tareas que se le encomienden que estén en su área de conocimiento.

La persona que ocupe el cargo debe poseer un título de técnico en mantenimiento de equipos o técnico medio en mecánica. Debe tener destreza y habilidad para los circuitos eléctricos, así como también en el manejo de instrumentos y herramientas de reparación y mantenimiento.

¹²Descripción general de funciones técnico electromecánico. Universidad de los Andes [En línea]. Disponible en: http://www.ula.ve/personal/cargos_unicos/tecnico_electrisista.htm

Figura 15. Organigrama de la empresa



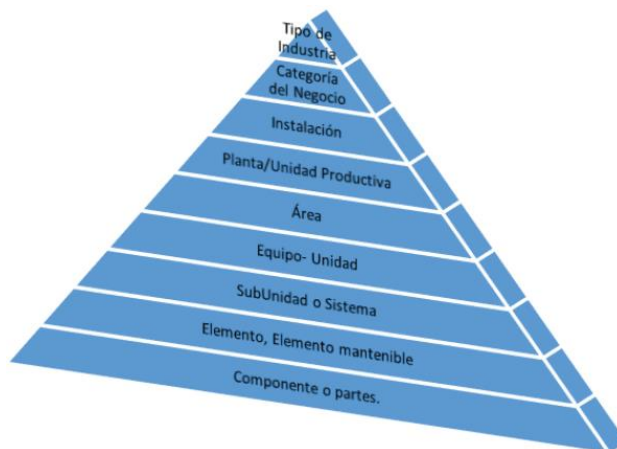
5. CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

5.1 TAXONOMÍA DE EQUIPOS ISO 14224

Para que la codificación de activos sea realmente útil, la lista de equipos debe ser estructurada, racional y arbórea que permita “establecer una correcta identificación y registro en forma sistemática de todos los activos en una organización”¹³.

Según la norma ISO 14224, la taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos, basándose en factores posiblemente comunes a varios de los elementos (ubicación, uso, equipo de subdivisión, etc.). También son llamados árboles de equipos por su característica jerarquizada.

Figura 16. Taxonomía ISO 14224



Fuente: BORRAS, Carlos. Ingeniería de mantenimiento. Material docente

¹³ BORRAS, Carlos. Ingeniería de mantenimiento. Material docente

Actualmente la empresa cuenta con una codificación muy sencilla de las iniciales de los nombres de los activos de la planta. Esta codificación no es completa y no cumple con la normatividad.

Este proyecto de grado propone una codificación alfanumérica que permita identificar la máquina, el área y la zona donde se encuentra y el número de ejemplares existentes dentro de la empresa.

5.2 NIVELES DE JERARQUIZACIÓN

A continuación se van a aplicar los niveles de jerarquización a la compañía. Se identifica la empresa hasta llegar a la subdivisión de equipos según la norma ISO 14224.

- 1. Tipo de industria:** Construcción civil.
- 2. Categoría del negocio:** Fabricación, alquiler y venta de encofrado metálico para vaciado en concreto.
- 3. Categoría de la instalación:** Metalmecánica.
- 4. Planta:** Paneles estructurales S.A.S. – FORMADCOL. Locación: Piedecuesta, Zona Industrial Guatiguará.
- 5. Áreas de trabajo:** La empresa cuenta con dos niveles. En el primer nivel se encuentra el área de producción 1, el área de mantenimiento y almacenamiento. En el segundo nivel se localiza el área de producción 2. Para evitar confusiones en el ordenamiento de los activos, se hace la siguiente codificación:

Tabla 16. Distribución de áreas

Nº	ÁREA	CÓDIGO
1	Almacenamiento	AM
2	Mantenimiento	MT
3	Producción nivel 1	P1
4	Producción nivel 2	P2

Igualmente las áreas de producción se subdividen en zonas. El área de producción 1 se subdivide en las zonas de acondicionamiento del material, mecanizado, doblado, troquelado de piezas y zona de carga. El área de producción 2 cuenta con las zonas de soldadura, limpieza y pintura.

Tabla 17. Subdivisión área de producción 1

Nº	ZONA	CODIGO
1	Zona de acondicionamiento	ZA
2	Zona de carga	ZC
3	Zona de doblado	ZD
4	Zona de mecanizado	ZM
5	Zona de troquelado	ZT

Tabla 18. Subdivisión área de producción 2

Nº	ZONA	CODIGO
1	Zona de soldadura	ZS
2	Zona de carga	ZC
3	Zona de limpieza	ZL
4	Zona de pintura	ZP

Para facilitar la ubicación de las zonas establecidas se procede a demarcarlas en el plano de la planta. En la figura 17 se pueden ver las zonas demarcadas de producción 1 y en la figura 18 las de producción 2.

Figura 17. Plano producción primer nivel

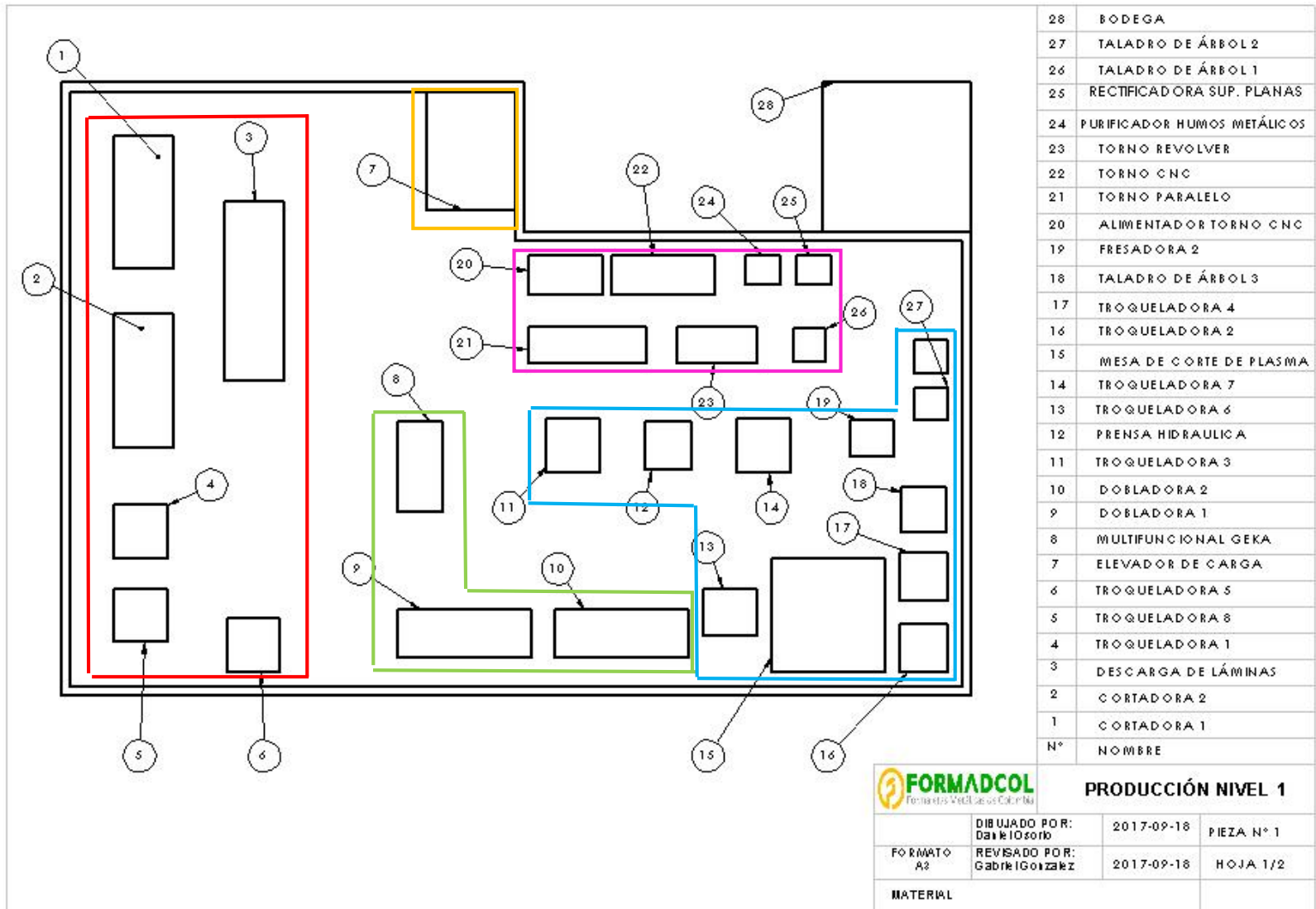
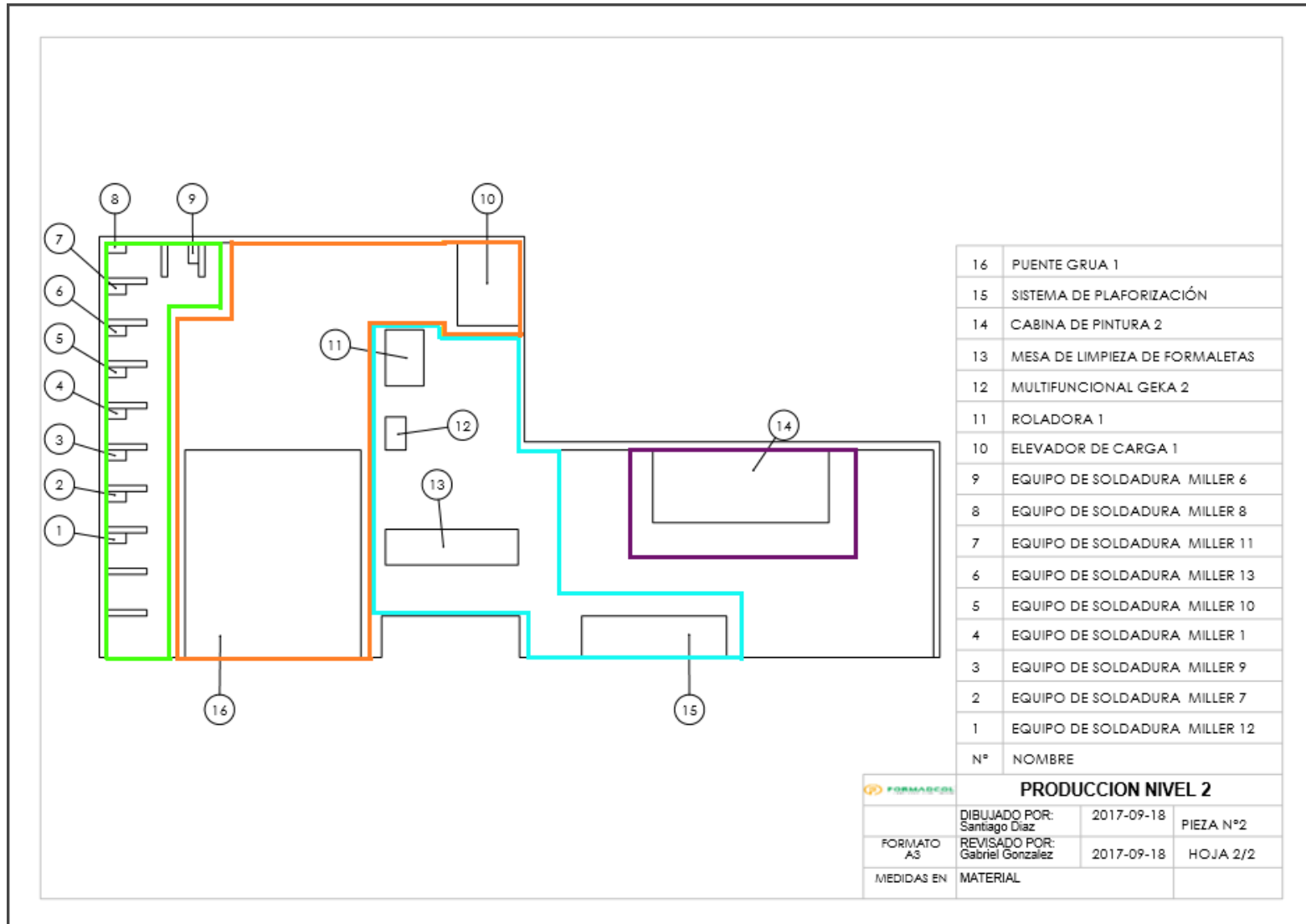


Figura 18. Plano producción segundo nivel



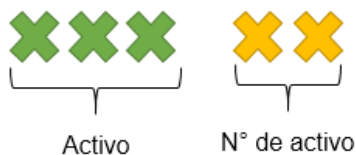
- 6. Equipo:** Los equipos se van a identificar con las iniciales del nombre por las cuales ya han sido establecidas anteriormente por la empresa. Esta codificación cuenta con tres letras que indican el activo.

5.3 CODIFICACIÓN

Teniendo en cuenta lo estipulado en los niveles de jerarquización, se procede a hacer la codificación cumpliendo con lo establecido en la Norma ISO 14224.

Cabe resaltar que la empresa ya contaba con una codificación la cuál constituía de tres letras que hacen referencia al nombre del activo y dos números que representan el consecutivo.

Figura 19. Codificación antigua de la empresa



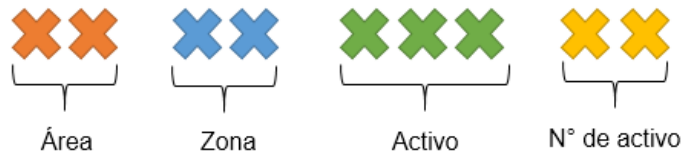
Para realizar la nueva codificación, que cumpla con lo estipulado en la Norma ISO 14224 y que no genere un cambio tan grande que conlleve a confusiones o desorden dentro de la empresa, se va a tener en cuenta la antigua codificación.

Para la nueva codificación se diseñó un sistema alfanumérico de 9 caracteres, como se explica a continuación:

- Dos letras que representan el área donde se encuentra la máquina.
- Dos letras que indican la zona específica donde se localiza el activo.
- Tres letras que simbolizan el nombre de la máquina.

- Dos números que significan el consecutivo en la cantidad de activos presentes en la planta.

Figura 20. Codificación para la empresa



A continuación se muestra una tabla con la codificación de algunos de los activos de la empresa. La tabla completa se puede ver en el Anexo C.

Tabla 19. Codificación activos Paneles Estructurales S.A.S –FORMADCOL

CODIFICACIÓN DE ACTIVOS					
Nombre	Área	Zona	Activo	Consecutivo	Código
CORTADORA 1	P1	ZA	COR	01	P1-ZA-COR-01
CORTADORA 2	P1	ZA	COR	02	P1-ZA-COR-02
DOBLADORA 1	P1	ZD	DOB	01	P1-ZD-DOB-01
DOBLADORA 2	P1	ZD	DOB	02	P1-ZD-DOB-02
ELEVADOR DE CARGA 1	P1	ZC	ECA	01	P1-ZC-ECA-01
EQUIPO ASPERSOR DE PINTURA SISTEMA A1	AM	ZB	EAP	01	AM-ZB-EAP-01
EQUIPO DE CORTE POR PLASMA 1	AM	ZB	ECP	01	AM-ZB-ECP-01
EQUIPO DE CORTE POR PLASMA 2	AM	ZB	ECP	02	AM-ZB-ECP-02
EQUIPO DE SOLDADURA MILLER 1	P2	ZS	ESM	01	P2-ZS-ESM-01
EQUIPO DE SOLDADURA MILLER 2	P2	ZS	ESM	02	P2-ZS-ESM-02
ROLADORA 01	P2	ZL	ROL	01	P2-ZL-ROL-01
TALADRO DE ÁRBOL 1	P1	ZM	TDA	01	P1-ZM-TDA-01
TORNO CNC	P1	ZM	CNC	01	P1-ZM-CNC-01
TORNO PARALELO	P1	ZM	TOR	01	P1-ZM-TOR-01
TORNO REVOLVER	P1	ZM	TOR	02	P1-ZM-TOR-02
TROQUELADORA 1	P1	ZA	TRO	01	P1-ZA-TRO-01
TROQUELADORA 2	P1	ZT	TRO	02	P1-ZT-TRO-02
TROQUELADORA 3	P1	ZT	TRO	03	P1-ZT-TRO-03
TROQUELADORA 4	P1	ZT	TRO	04	P1-ZT-TRO-04

6. CRITICIDAD DE ACTIVOS

6.1 ANÁLISIS DE PARETO

El análisis de Pareto aplicado al plan de mantenimiento preventivo que se implementó en la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S - FORMADCOL permitió identificar los equipos críticos para los procesos con base en el número de fallas que se encontraban registradas en las hojas de vida de estos. Se tuvieron en cuenta todos los equipos del área de producción y el número por cada activo, 72 equipos en total.

Las fallas se pueden observar en la tabla 20.

Tabla 20. Listado equipos sección producción y su frecuencia de falla

Nº	Equipos	Cantidad de equipos	Frecuencia de Falla
1	Alimentador torno	1	1
2	Pistolas de pintar	2	0
3	Compresor de aire	1	0
4	Cortadoras	2	3
5	Cabinas de pintar	2	0
6	Dobladoras	2	3
7	Equipos de corte de plasma	2	2
8	Equipos de soldadura Miller	15	0
9	Multifuncionales GEKA	2	2
10	Montacargas	3	3
11	Motortools	3	0
12	Equipos de calibración	3	0
13	Pulidoras	9	0
14	Prensa hidráulica	1	0,25
15	Purificador de humos	1	0
16	Rectificadora	1	1
17	Roladora	1	0,5
18	Segueta eléctrica	1	0
19	Sopladora	1	0

20	Taladros manuales	8	0
21	Torno CNC	1	1
22	Taladros de árbol	5	0,5
23	Tornos	2	1,5
24	Tanque de pintura	2	1
25	Troqueladoras	8	8

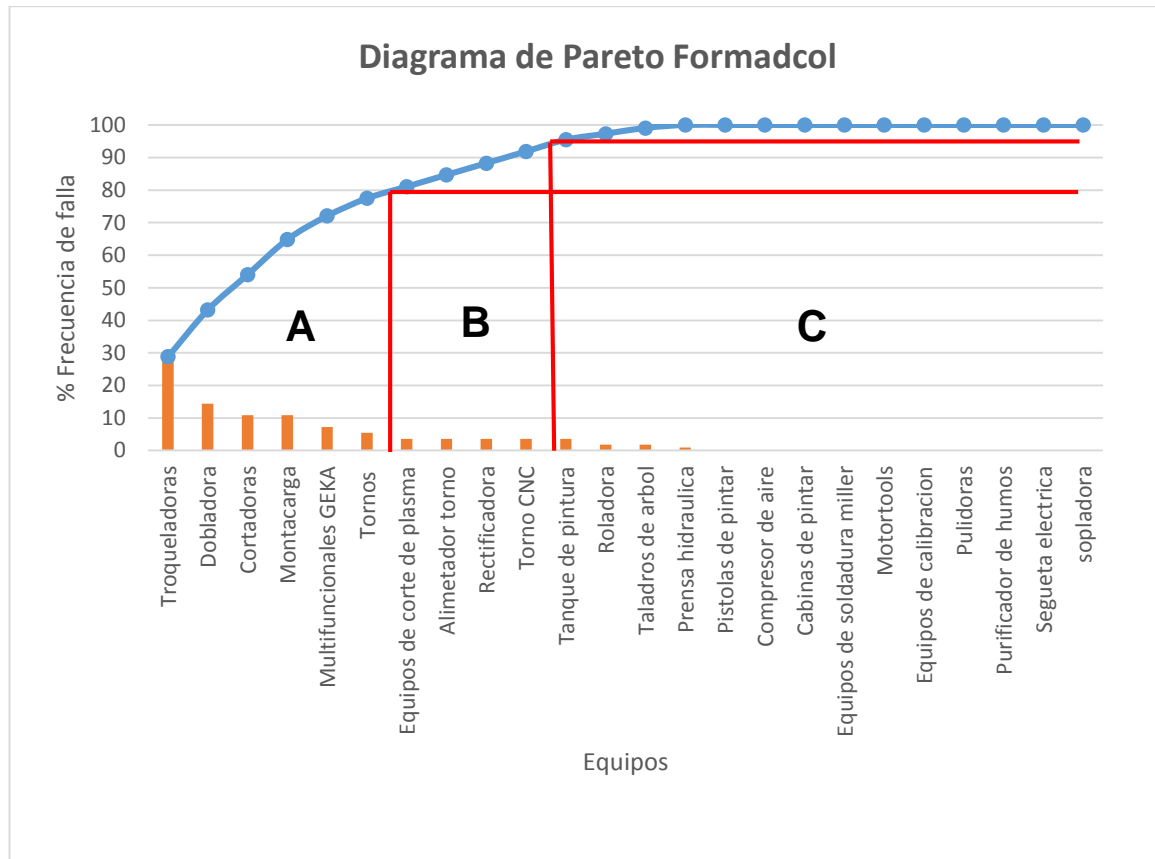
Con base en los resultados del diagrama de Pareto se seleccionaron los equipos para realizar la criticidad de los subsistemas teniendo en cuenta el criterio de riesgo.

Una vez recopilada esta información se procedió a organizarla a partir del número de fallas de mayor a menor y hacer los cálculos de frecuencia acumulada, porcentaje de frecuencia y porcentaje de frecuencia acumulada, para la construcción del diagrama. Ver tabla 21 y figura 20.

Tabla 21. Cálculos frecuencia de falla, frecuencia acumulada y porcentajes

Nº	Equipos	Cantidad de equipos	Frecuencia de Falla	% Frecuencia	% Acumulado
1	Troqueladoras	8	8	28,82882883	28,82882883
2	Dobladora	2	4	14,41441441	43,24324324
3	Cortadoras	2	3	10,81081081	54,05405405
4	Montacarga	3	3	10,81081081	64,86486486
6	Multifuncionales GEKA	2	2	7,207207207	72,07207207
7	Tornos	2	1,5	5,405405405	77,47747748
5	Equipos de corte de plasma	2	1	3,603603604	81,08108108
8	Alimetador torno	1	1	3,603603604	84,68468468
9	Rectificadora	1	1	3,603603604	88,28828829
10	Torno CNC	1	1	3,603603604	91,89189189
11	Tanque de pintura	2	1	3,603603604	95,4954955
12	Roladora	1	0,5	1,801801802	97,2972973
13	Taladros de arbol	5	0,5	1,801801802	99,0990991
14	Prensa hidraulica	1	0,25	0,900900901	100
15	Pistolas de pintar	2	0	0	100
16	Compresor de aire	1	0	0	100
17	Cabinas de pintar	2	0	0	100
18	Equipos de soldadura miller	15	0	0	100
19	Motortools	3	0	0	100
20	Equipos de calibracion	3	0	0	100
21	Pulidoras	2	0	0	100
22	Purificador de humos	1	0	0	100
23	Segueta electrica	1	0	0	100
24	sopladora	1	0	0	100
25	Taladros manuales	8	0	0	100
TOTAL		72	27,75	100	

Figura 21. Diagrama de Pareto área de producción



Al trazar la línea que corta el 80% de las fallas en el diagrama de Pareto, se encuentra que son producidas por 6 máquinas, las cuales corresponden al 24% del total de equipos, por lo que se comprueba la correcta aplicación del criterio 80-20.

También se observa que el 95% de las fallas son producidas por 10 equipos

Los equipos que requieren la mayor atención del programa de mantenimiento preventivo y a los que se les realizará el análisis de criticidad de subsistemas son:

- Troqueladoras
- Dobladoras
- Montacargas
- Cortadoras
- Multifuncional GEKA
- Tornos

6.2 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

El proceso de análisis jerárquico conocido como AHP por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process), es una metodología estructurada que permite la toma de decisiones de forma acertada frente a múltiples alternativas y múltiples criterios de evaluación.

La metodología se basa fundamentalmente en las comparaciones pareadas, para esto se establece una escala de relevancia y se asignan las preferencias relativas entre dos elementos. El proceso de análisis jerárquico busca de cierta manera subdividir el problema de toma de decisiones en una comparación pareada de las alternativas con base en ciertos criterios de evaluación a los cuales se les ha determinado previamente su relevancia, para finalmente unir todo el proceso en una conclusión o decisión de la alternativa que satisfaga de mejor manera los requerimientos de los criterios.

En comparación con otras metodologías aplicadas a la toma de decisiones el proceso de análisis jerárquico presenta las siguientes ventajas:

- Permite incluir criterios cuantitativos y cualitativos en la misma escala.
- Se soporta en una base matemática.
- Es sencillo de comprender y aplicar.
- Permite la verificación del índice de consistencia, para hacer correcciones en los criterios.
- Divide y analiza el problema en partes.

6.3 DETERMINACIÓN DE LA RELEVANCIA DE LOS CRITERIOS

En la aplicación del AHP, es necesario determinar la relevancia de los criterios de evaluación de las alternativas, para esto se establece una escala de preferencias en la que se realiza un planteamiento verbal y una calificación numérica. Esta escala

será la base para realizar las comparaciones pareadas entre criterios y posteriormente entre alternativas.

En la siguiente tabla se presenta la escala de preferencias utilizada en el análisis de criticidad de los subsistemas de equipos críticos.

Tabla 22. Escala de preferencias

Escala de comparación pareada	
Relevancia de un criterio respecto de otro	Valor
Igual	1
Moderada	3
Fuerte	5
Muy fuerte	7
Extrema	9

Con una escala de preferencias establecidas y con una cantidad n de criterios se genera una matriz A de tamaño $n \times n$, en la cual a_{ij} es un elemento que pertenece a esta matriz, para $i = 1, 2, 3, \dots, n$, y $j = 1, 2, 3, \dots, n$. La matriz A será una matriz de comparaciones pareadas en la que el valor que se encuentre en la posición a_{ij} será la preferencia del criterio i con respecto al criterio j , de este modo el valor de a_{ij} cuando $i = j$ será de 1, ya que se está comparando la relevancia de un criterio contra el mismo. Siguiendo con este análisis y sabiendo que el valor en la posición a_{ij} es la preferencia del criterio i en relación al criterio j , cuando se realice la comparación de preferencia entre el elemento j y respecto del elemento i , este será el valor inverso del valor que se encuentre en la posición a_{ij} , obteniendo $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ¹⁴

¹⁴ TOSKANO, Gérard. El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Lima, 2005. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf

Figura 22. Matriz de comparaciones pareadas entre criterios y alternativas

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Fuente: TOSKANO, Gérard. El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores.

Obtenida la información acerca de la importancia relativa entre pares de criterios en la matriz A, se procede a resumir esa información y establecer la priorización de criterios de evaluación aplicando un procedimiento matemático denominado síntesis.

6.4 SINTESIS DE INFORMACIÓN DE LA MATRIZ DE COMPARACIONES

El procedimiento para obtener la priorización de los criterios a partir de las comparaciones entre pares se denomina síntesis y se desarrolla en cortos pasos a partir de la matriz A. En primer lugar se calcula la suma de los valores en cada columna, luego se genera una nueva matriz que se denomina matriz de comparaciones normalizada en la que cada elemento se calcula como la razón entre el valor en la posición a_{ij} de la matriz A y el valor de la suma de su correspondiente columna. Finalmente se calcula el valor promedio entre los valores de cada una de las filas de la matriz normalizada. Cada valor promedio corresponde a la priorización de cada criterio.

6.5 EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA DE LOS JUICIOS DE DECISIÓN¹⁵

Matemáticamente hablando una matriz A de tamaño $n \times n$ es consistente si se cumple que el producto de a_{ij} y a_{jk} es igual a a_{ik} para cualquier valor que asuman i, j y k . Esta propiedad matemática ayuda a cuantificar cuan aptos son los juicios establecidos por el evaluador en el desarrollo de las comparaciones de pares. Como es de esperarse la matriz A no será consistente, debido a su naturaleza, sin embargo se busca encontrar su grado de consistencia para determinar si los juicios del evaluador son aceptables o por el contrario deben modificarse y replantear las comparaciones.

Para la verificación de los juicios se hace uso del radio de consistencia (CR) el cual se define como la razón entre el índice de consistencia (CI) y el valor de la consistencia aleatoria (RI).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

En donde el valor del índice de consistencia (CI) de una matriz $n \times n$ se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$CI = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

En donde n es el número de criterios evaluados en la matriz y n_{max} es el máximo auto valor de la matriz A , el cual se determina calculando primero el vector columna A y sumando sus elementos.

El valor de la consistencia aleatoria (RI) es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada de manera aleatoria y su valor depende de la cantidad de criterios que se comparan. Para determinar el valor de RI algunos autores utilizan la siguiente estimación:

¹⁵ TOSKANO, Gérard. El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Lima, 2005. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf

$$RI = \frac{1.98 * (n - 2)}{n}$$

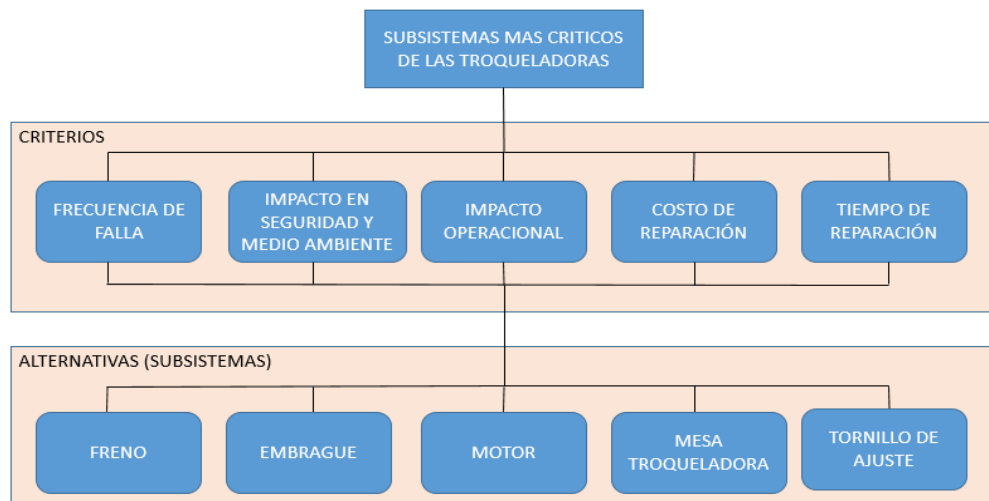
Los valores obtenidos de relevancia de criterios y los juicios del evaluador de la matriz de comparaciones pareadas son aceptables siempre que $CR \leq 0.1$. En caso de que este valor sea mayor se debe generar un replanteamiento de las relevancias entre pares.

6.6 APLICACIÓN DEL METODO AHP EN LA BUSQUEDA DE SISTEMAS CRÍTICOS

Para la aplicación del proceso de análisis jerárquico en la determinación de los subsistemas críticos para la planta, se tomaron los equipos que previamente el análisis de Pareto determinó como equipos críticos en base a fallas. Estos equipos se dividieron en subsistemas los cuales pasaron a ser las alternativas a evaluar. También en la aplicación del AHP se deben establecer criterios de evaluación los cuales se plantearon basados en la metodología de los factores ponderados.

A continuación se presentan los criterios globales y alternativas de evaluación de las troqueladoras de la planta.

Figura 23. AHP determinación criticidad de subsistemas troqueladora.



6.7 CÁLCULO DE LA RELEVANCIA DE CRITERIOS

Para iniciar la aplicación de la metodología AHP se hace necesario la jerarquización del nivel de importancia de los criterios para la evaluación de las alternativas. Para esta jerarquización se plantea la siguiente matriz de comparaciones con base en la revisión de las hojas de vida de los distintos equipos, manuales de operación y la experiencia de los operarios de máquinas:

Tabla 23. Jerarquización de la relevancia de los criterios de evaluación

MATRIZ DE COMPARACION DE CRITERIOS										
Criterio	Frecuencia de falla	Impacto en seguridad y medio	Impacto operacional	Costo de reparacion	Tiempo de reparacion	Matriz normalizada				Ponderacion
Frecuencia de falla	1,00	5,00	3,00	3,00	7,00	0,50	0,48	0,53	0,36	0,47
Impacto en seguridad y medio	0,20	1,00	0,33	1,00	3,00	0,10	0,10	0,06	0,12	0,09
Impacto operacional	0,33	3,00	1,00	3,00	1,00	0,17	0,29	0,18	0,36	0,25
Costo de reparacion	0,33	1,00	0,33	1,00	3,00	0,17	0,10	0,06	0,12	0,11
Tiempo de reparacion	0,14	0,33	1,00	0,33	1,00	0,07	0,03	0,18	0,04	0,08
TOTAL	2,01	10,33	5,67	8,33	15,00					

Luego de realizar las comparaciones pareadas y realizar el respectivo proceso de síntesis, se observa en la columna de ponderación los valores de relevancia de los distintos criterios. En orden de mayor a menor importancia se ve: frecuencia de falla, impacto operacional, costo de reparación, impacto en seguridad y medio ambiente y tiempo de reparación.

En busca de corroborar que la información obtenida de la matriz de comparaciones es válida, se realiza el cálculo de consistencia de los juicios.

Tabla 24. Cálculo índice de consistencia, consistencia aleatoria y radio de consistencia

AxP	Vector resultante del producto de la matriz de comparaciones y el vector ponderacion	
2,57192406	nmax = suma de los componentes del vector AxP	5,434321967
0,62028175	CI=(nmax-n)/(n-1)	0,108580492
1,0964803	RI=1,98*(n-2)/n	1,188
0,68264552	CR=CI/RI	0,09139772
0,46299034		

Como el valor del radio de consistencia es de 0.091398 (menor a 0.1) se puede continuar el proceso de evaluación y tomar la información de la matriz como válida.

Continuando con el AHP se deben generar matrices de comparaciones entre pares de alternativas, teniendo siempre claro si afecta en mayor o menor medida el criterio sobre el que se basa la matriz.

A continuación se presenta el cálculo de la criticidad de los subsistemas de los equipos de troquelado, para esto se generan 5 matrices en las que se comparan las alternativas con base en cada uno de los criterios de selección, posteriormente se normalizan los valores de la comparación y se encuentra su ponderación.

Tabla 25. Relevancia de frecuencia de falla

CRITERIO: Frecuencia de falla											
Alternativas	Freno	Embrague	Motor	Mesa troqueladora	Tornillo de ajuste	Matriz normalizada					Ponderacion
Freno	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	0,56	0,64	0,52	0,43	0,39	0,51
Embrague	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	0,19	0,21	0,31	0,31	0,30	0,26
Motor	0,20	0,33	1,00	3,00	3,00	0,11	0,07	0,10	0,18	0,13	0,12
Mesa troqueladora	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	0,08	0,04	0,03	0,06	0,13	0,07
Tornillo de ajuste	0,11	0,14	0,33	0,33	1,00	0,06	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04
TOTAL	1,79	4,68	9,67	16,33	23,00						

Tabla 26. Relevancia del impacto en seguridad y medio ambiente

CRITERIO: Impacto en seguridad y medio ambiente											
Alternativas	Freno	Embrague	Motor	Mesa troqueladora	Tornillo de ajuste	Matriz normalizada					Ponderacion
Freno	1,00	3,00	7,00	0,33	5,00	0,21	0,56	0,37	0,06	0,29	0,30
Embrague	0,33	1,00	5,00	1,00	5,00	0,07	0,19	0,26	0,18	0,29	0,20
Motor	0,14	0,20	1,00	3,00	1,00	0,03	0,04	0,05	0,54	0,06	0,14
Mesa troqueladora	3,00	1,00	5,00	1,00	5,00	0,64	0,19	0,26	0,18	0,29	0,31
Tornillo de ajuste	0,20	0,20	1,00	0,20	1,00	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05
TOTAL	4,68	5,40	19,00	5,53	17,00						

Tabla 27. Relevancia del impacto operacional

CRITERIO: Impacto operacional											
Alternativas	Freno	Embrague	Motor	Mesa troqueladora	Tornillo de ajuste	Matriz normalizada					Ponderacion
Freno	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	0,27	0,27	0,28	0,27	0,23	0,27
Embrague	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	0,27	0,27	0,28	0,27	0,23	0,27
Motor	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,27	0,27	0,28	0,27	0,38	0,30
Mesa troqueladora	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09
Tornillo de ajuste	0,33	0,33	0,20	1,00	1,00	0,09	0,09	0,06	0,09	0,08	0,08
TOTAL	3,67	3,67	3,53	11,00	13,00						

Tabla 28. Relevancia del costo de reparación

CRITERIO: Costo de reparación											
Alternativas	Freno	Embrague	Motor	Mesa troqueladora	Tornillo de ajuste	Matriz normalizada					Ponderacion
Freno	1,00	0,33	0,20	3,00	0,20	0,07	0,07	0,07	0,29	0,02	0,10
Embrague	3,00	1,00	0,33	3,00	3,00	0,21	0,20	0,12	0,29	0,37	0,24
Motor	5,00	3,00	1,00	3,00	1,00	0,35	0,60	0,35	0,29	0,12	0,34
Mesa troqueladora	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00	0,02	0,07	0,12	0,10	0,37	0,13
Tornillo de ajuste	5,00	0,33	1,00	0,33	1,00	0,35	0,07	0,35	0,03	0,12	0,18
TOTAL	14,33	5,00	2,87	10,33	8,20						

Tabla 29. Relevancia del tiempo de reparación

CRITERIO: Tiempo de reparacion											
Alternativas	Freno	Embrague	Motor	Mesa troqueladora	Tornillo de ajuste	Matriz normalizada					Ponderacion
Freno	1,00	1,00	3,00	0,33	0,33	0,12	0,12	0,20	0,12	0,11	0,13
Embrague	1,00	1,00	3,00	0,33	0,33	0,12	0,12	0,20	0,12	0,11	0,13
Motor	0,33	0,33	1,00	0,20	0,33	0,04	0,04	0,07	0,07	0,11	0,07
Mesa troqueladora	3,00	3,00	5,00	1,00	1,00	0,36	0,36	0,33	0,35	0,33	0,35
Tornillo de ajuste	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	0,36	0,36	0,20	0,35	0,33	0,32
TOTAL	8,33	8,33	15,00	2,87	3,00						

Con los valores de ponderación de estas matrices y los valores de relevancia de los criterios se determina la priorización (criticidad) de cada subsistema mediante la ecuación:

$$Criticidad = \sum_{i=1}^{i=n} C_i * ponderacion_{C_i}$$

En donde C_i es el valor de la ponderación de cada alternativa evaluada para el criterio i . De esta forma se calculan los valores de criticidad para cada subsistema de los equipos críticos.

En la tabla 30 se presenta el modelo de cálculo de la priorización (criticidad) para los subsistemas del equipo de troquelado.

Tabla 30. Cálculo valores de criticidad para subsistemas de troqueladoras

Criterio / Alternativa	Frecuencia de falla	Impacto en seguridad y medio ambiente	Impacto operacional	Costo de reparacion	Tiempo de reparacion	Priorización
Freno	0,51	0,30	0,27	0,10	0,13	0,35
Embrague	0,26	0,20	0,27	0,24	0,13	0,25
Motor	0,12	0,14	0,30	0,34	0,07	0,19
Mesa troqueladora	0,07	0,31	0,09	0,13	0,35	0,13
Tornillo de ajuste	0,04	0,05	0,08	0,18	0,32	0,09
Ponderacion	0,47	0,09	0,25	0,11	0,08	

6.8 RESULTADOS DEL AHP

En la tabla 31 se presentan ordenados de mayor a menor en función de la criticidad los 32 subsistemas evaluados con su respectivo valor de criticidad, adicionalmente con estos datos se realizó una distribución gaussiana para la determinación de las zonas en la cuales se clasificarán los subsistemas: críticos, medianamente críticos y no críticos. Para la construcción de la campana de gauss se verifico que la distribución de frecuencias de la variable criticidad cumpliera las siguientes características:

- Es aproximadamente simétrica.
- Posee una gran cantidad de valores cerca del centro.
- La moda, mediana y promedio son aproximadamente iguales.
- Los valores en los extremos inferior y superior tienen poca probabilidad de ocurrencia.

La campana de gauss es la representación gráfica de una distribución normal de un grupo de datos. El gráfico presenta en el eje de las abscisas los valores de criticidad de los subsistemas y en el eje de las ordenadas se exhibe el valor de la distribución normal (densidad) para cada uno de los valores de criticidad. El valor de la distribución normal de un elemento es función del elemento mismo, de la media de la muestra y del valor de la desviación estándar y se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$F(Y, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Y-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

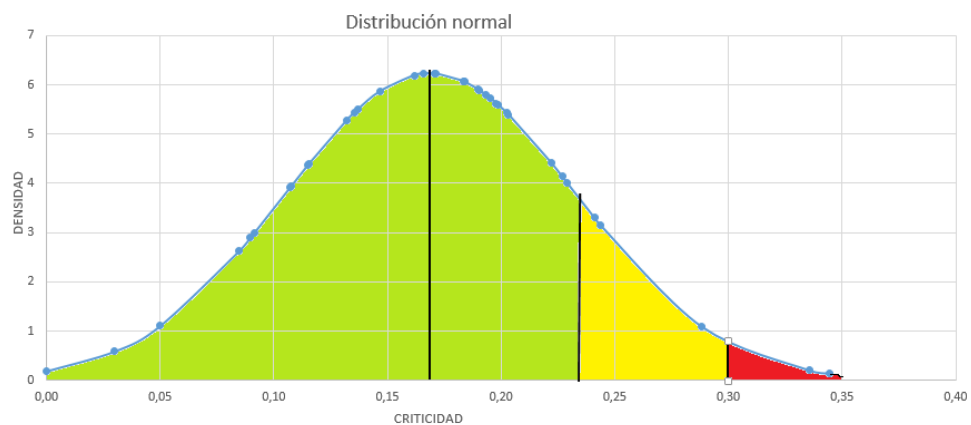
En donde μ es el valor de la media o promedio de la muestra, σ es el valor de la desviación estándar y Y es el valor del dato de la muestra al que se le va a calcular la distribución normal.

Tabla 31. Resultados del AHP y distribución normal de los subsistemas

EQUIPO	SUBSISTEMA	CRITICIDAD	COORDENADAS Y
Troqueladoras	Freno	0,34	0,146121419
Tornos	Embrague	0,34	0,211094651
Dobladoras	Sistema hidráulico	0,29	1,093362186
Troqueladoras	Embrague	0,24	3,151837237
GEKA	Equipo de corte	0,24	3,30469144
GEKA	Motor	0,23	4,009904462
Tornos	Sistema de mecanizado	0,23	4,134537881
Dobladoras	Motor principal	0,22	4,422566907
GEKA	Sistema eléctrico	0,20	5,398864042
Cortadoras	Juego de cuchillas	0,20	5,425065272

Dobladoras	Sistema eléctrico	0,20	5,60033691
Montacargas	Sistema eléctrico	0,20	5,623145245
Cortadoras	Sistema hidráulico	0,20	5,727367967
Cortadoras	Pedal de accionamiento	0,19	5,788031759
Troqueladoras	Motor	0,19	5,891963357
GEKA	Pedal de accionamiento	0,19	5,906113795
Tornos	Caja de velocidades	0,18	6,063630983
Montacargas	Motor Diesel	0,18	6,069340085
Montacargas	Freno	0,17	6,223410875
Montacargas	Sistema de accionamiento	0,17	6,225871453
Cortadoras	Motor principal	0,17	6,221188174
Montacargas	Sistema hidráulico	0,16	6,190496685
Tornos	Motor	0,15	5,864718925
GEKA	Sistema hidráulico	0,14	5,506765606
Cortadoras	Porta cuchillas	0,14	5,426789277
Troqueladoras	Mesa troqueladora	0,13	5,279780498
Dobladoras	Sistema de accionamiento	0,12	4,393875797
Montacargas	Sistema refrigeración	0,11	4,364709977
Cortadoras	Sistema eléctrico	0,11	3,951865239
Tornos	Sistema eléctrico	0,11	3,916916147
Dobladoras	Panel de mando	0,09	2,991867986
Troqueladoras	Tornillo de ajuste	0,09	2,899788514
Dobladoras	Topes traseros	0,08	2,62080087

Figura 24. Distribución normal de los subsistemas



MEDIA (μ)	0,17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	0,06405494

Como se puede observar en la figura 23 se asumió que los subsistemas no críticos (color verde) son aquellos que se encuentran ubicados por debajo del valor de $\mu+\sigma$, los subsistemas medianamente críticos (color amarillo) se encuentran ubicados entre $\mu+\sigma$ y $\mu+2\sigma$ y por último los subsistemas críticos (color rojo) se encuentran arriba de $\mu+2\sigma$.

Con esta clasificación utilizada se encuentran el freno de los equipos de troquelado y el embrague de los tornos en la zona de subsistemas críticos, en la zona de subsistemas medianamente críticos se ubican 3 elementos y en la zona de no críticos se encuentran los 27 subsistemas restantes.

La aplicación y resultados del método AHP para los demás equipos críticos arrojados por Pareto, se pueden ver en el Anexo D.

Este método puede ser verificado con el análisis tradicional de criticidad por el método de factores ponderados basados en el concepto de riesgo dado por la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Criticidad\ Total} = \mathbf{Frecuencia\ de\ falla\ x\ Consecuencia}$$

$$\mathbf{Consecuencia} = ((\mathbf{Impacto\ operacional\ x\ Flexibilidad}) + \mathbf{Costo\ Mtto} + \mathbf{Impacto\ SAH})$$

En el Anexo E se pueden observar los resultados de este método tradicional. Estos resultados son similares a los arrojados por el AHP, por lo que se puede concluir que los dos métodos son válidos y se pueden aplicar en el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo.

7. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS CRÍTICOS

En este capítulo se encuentra la información necesaria con la cual se alimentará el módulo de hojas de vida (HVA), órdenes de trabajo de mantenimiento (OT), planes de trabajo (PDT), junto al cronograma de actividades del software de mantenimiento.

Debido a que la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL no contaba con la información necesaria que permitiera tener una base o guía en la elaboración del plan de mantenimiento, se procedió a obtenerla a partir de las recomendaciones del fabricante presentes en los manuales y catálogos de los equipos junto con la experiencia y asesoría de los técnicos que trabajan día a día junto a estas máquinas. De esta manera se pudo desarrollar un programa de mantenimiento más completo y aplicable.

Las órdenes de trabajo del plan de mantenimiento se realizaron para los activos críticos determinados por el diagrama de Pareto.

7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

A continuación se presenta una descripción de los equipos que resultaron críticos con base en el análisis de Pareto.

7.1.1 Troqueladoras: En la planta de producción actualmente se encuentran 8 equipos de troquelado. El principio de operación de los equipos es el mismo. Se trata de un accionamiento mecánico y un motor eléctrico que suministra la energía, esta se almacena en un volante de inercia y el operario mediante un pedal de accionamiento conectado a un embrague dispone de la potencia para realizar el troquelado. El embrague conecta al volante de inercia con un cigüeñal, el cual por

medio de una biela convierte el movimiento de rotación en un movimiento de translación alternativo.

Las potencias de los equipos de troquelado varían desde los 1,5 kW hasta los 7,4 kW. Esta variación se debe a que los equipos de troquelado se utilizan en diferentes procesos de producción.

Figura 25. Troqueladora 8, potencia de 5500 watt



Las troqueladoras 1 y 8, las cuales son los troqueles de mayor capacidad, 7,4 kW y 5,5 kW respectivamente, están ubicadas justo después de las cortadoras y se utilizan en el corte de las láminas laterales que dan forma a la formaleta. Los otros 6 equipos de troquelado, se encuentran distribuidos en la zona de troquelado y se utilizan para generar los agujeros de apuntalamiento sobre las láminas laterales. Estos agujeros son necesarios para conectar las formaletas y así crear los diseños requeridos.

Es preciso mencionar que todos los equipos de troquelado son máquinas muy antiguas, de las que no se tiene registro alguno del año de fabricación ni fabricante o modelo.

7.1.2 Dobladoras: Las dobladoras o prensas dobladoras, son equipos de accionamiento hidráulico y controladas mediante CNC. Ambas dobladoras se encuentran en la zona de plegado en el primer piso del área de producción y sus

capacidades y especificaciones son idénticas, con una fuerza de plegado de hasta 600 kN, una longitud de plegado de 1250 mm y una potencia de 7,5 kW.

El uso de las dobladoras varía según lo que producción requiera, ya que estas no son utilizadas en la fabricación de formaletas, pero sí en la fabricación de demás productos ofrecidos por la empresa para la construcción como lo son rinconeras, biseles, vigas y demás equipo.

Figura 26. Dobladora 2



La dobladora 1 fue adquirida por la empresa el 16 de junio de 2007 completamente nueva y es del fabricante ERMAKSAN modelo AP2680. La Dobladora 2 se compró el primero de enero de 2013 fabricada por ADIRA modelo PMO1553PLS.

7.1.3 Montacargas: El montacargas usado en la empresa de marca Caterpillar modelo PD11000, posee la capacidad de levantar hasta 5 toneladas a 4.5 metros de altura y es utilizado en la zona de mantenimiento y los almacenes para organizar y apilar las formaletas ya sean nuevas, usadas o restauradas. Es accionado por un motor de combustión interna modelo Mitsubishi S6S el cual entrega la potencia a una transmisión hidrostática encargada de mover tanto las llantas, como el dispositivo de elevación.

Figura 27. Montacargas Caterpillar



El montacargas fue adquirido por la empresa en estado nuevo en octubre de 2012, posee una potencia de 58 kW y su motor trabaja con acpm.

7.1.4 Cortadoras: Con las cortadoras comienza el proceso de fabricación de las formaletas y demás productos ofrecidos. Se encuentran en la zona de acondicionamiento y son las encargadas de transformar las láminas de acero 1020 de 1,5m x 3m en láminas manejables para los demás procesos de fabricación. Ambas cortadoras son del fabricante Ermaksan, son accionadas hidráulicamente, poseen una potencia de 11 kW y una longitud de corte de 2600 mm y 3100 mm.

Figura 28. Cortadora hidráulica 2



7.1.5 Multifuncionales GEKA: Los equipos multinacionales GEKA no poseen una aplicación específica en la línea de producción, sino que debido a su versatilidad y

relativa baja capacidad, son utilizados en la manufactura de diseños especiales como encofrado para vaciado de escaleras.

Los equipos multifuncionales poseen 5 estaciones de trabajo: punzonado (con 550 kN de fuerza), entallado, cizallado de perfiles en L (con 1100 kN de fuerza), corte de pletinas y corte de barras de múltiples perfiles.

En la planta se encuentran distribuidos en la zona de plegado y en la zona de limpieza y fueron adquiridos nuevos en el año 2011.

Figura 29. Multifuncional GEKA Hidracrop 55SD



7.1.6 Tornos: Los tornos son utilizados en la fabricación del equipo de apuntalamiento de formaletas y equipo consumible. Poseen una potencia de 2,2 kW y son de accionamiento manual. Fueron adquiridos en estado nuevo en el año 2012 y se encuentran en el área de producción, primer piso, en la zona de mecanizado.

Figura 30. Torno paralelo



7.2 PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las actividades de mantenimiento se dividieron en cuatro niveles según el tiempo y complejidad de ejecución.

Tabla 32. Descripción de los niveles de mantenimiento

NIVEL	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
1	Limpieza y lubricación	Se asigna al personal técnico encargado del equipo. Nivel de complejidad: Bajo-medio. Tiempo de ejecución: 0,5-2 horas. Estado del equipo: Fuera de servicio.
2	Revisión y control	Se asigna al personal técnico encargado del equipo Nivel de complejidad: Medio. Tiempo de ejecución: 0,5-1 horas. Estado del equipo: En servicio.
3	Evaluación y/o cambio	Se asigna al personal técnico o empresa subcontratada dependiendo de la dificultad. Nivel de complejidad: Medio-Alta. Tiempo de ejecución: 1-4 horas. Estado del equipo: Fuera de servicio
4	Mantenimiento general	Este mantenimiento es aquel que se realiza a motores, bombas, sistema eléctrico, etc, donde se requiere desarmar todo el equipo. Nivel de complejidad: Alto. Tiempo de ejecución: 4-24 horas. Estado del equipo: Fuera de servicio

Fuente: PALOMINO, Liseth. Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo a las áreas de derivados y UHT para la planta Bucaramanga de la empresa Freskaleche S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016, p. 161.

Se toma como ejemplo el equipo más crítico el cual es la troqueladora. El programa de mantenimiento de los demás activos críticos se pueden ver en el Anexo F.

Cabe resaltar que este programa de mantenimiento puede ser aplicado a todas las troqueladoras que posee la empresa debido a que sus características son muy similares.

Tabla 33. Programa de mantenimiento preventivo troqueladoras

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO TROQUELADORA				
FRECUENCIA	SECTOR	NIVEL	CARÁCTER	ACTIVIDAD
Diaria	Sistema hidráulico	2	Revisión y control	Verificar niveles de aceite
	Sistema mecánico	2	Revisión y control	Verificar integridad y seguridad de la guarda fija y de enclavamiento.
				Comprobación funcional del freno y el embrague.
	Sistema de accionamiento			Verificación funcional y estado general de los controles de comienzo y parada.
Verificación funcional y estado general de los controles de parada de emergencia.				
Semanal	Sistema mecánico	1	Limpieza y lubricación	Limpie la máquina con trapos limpios
Mensual	Sistema eléctrico	2	Revisión y control	Verificar controles, interruptores y luces de advertencia.
	Sistema hidráulico	2	Revisión y control	Verificación funcional de manómetros.
	Sistema mecánico	2	Revisión y control	Ajuste de pernos del motor y cojinetes.
Trimestral	Sistema mecánico	1	Limpieza y lubricación	Lubricación manual general: Rodamientos, ejes de transmisión, ruedas motrices, ajuste de carrera.
Semestral	Sistema de accionamiento	3	Evaluación y/o cambio	Evaluación detallada de los controles de comienzo y parada
				Evaluación y/o cambio de los dispositivos y controles de parada de emergencia
	Sistema mecánico			Evaluación y/o cambio de los conjuntos de transmisión
	Sistema eléctrico	3	Evaluación y/o cambio	Evaluación del estado externo del motor
Sistema de protección	3	Evaluación y/o cambio	Evaluación y/o cambio de los dispositivos de protección	
Anual	Sistema mecánico	3	Evaluación y/o cambio	Evaluación y/o cambio de rodamientos del volante, cigüeñal, biela y eje trasero
		4	Mantenimiento general	Mantenimiento general del embrague: ajuste de llave del embrague, anillo impulsor, mecanismo extractor

8. DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

Los sistemas de información son herramientas de software que permiten el ingreso, procesamiento, almacenamiento y salida de datos. Su aplicación como herramienta de apoyo al mantenimiento permite a la empresa el incremento de niveles de productividad, calidad y seguridad, todo esto mientras se reduce costos.

“La creciente necesidad de mejorar la productividad, de tomar decisiones rápidas y acertadas, de manejar un volumen amplio de información y de evaluar ágil y eficientemente el funcionamiento de equipos y personal en el área de mantenimiento, hace que las empresas adopten recursos tecnológicos de alta eficiencia e implanten una organización de mantenimiento que garantice una confianza absoluta.”¹⁶ Por lo anterior, un sistema de información es vital ya que proporciona al departamento de mantenimiento una gran capacidad para procesar datos.

Todo sistema de información debe ser confiable y flexible para tener la destreza de adaptarse a las circunstancias y necesidades de la empresa.

Una política de mejoramiento continuo debe contemplar la implementación de un CMMS, por sus siglas en inglés Computerized Maintenance Management System, los cuales son sistemas de información orientados a la óptima gestión de los recursos y activos de la empresa. Estos permiten la documentación de la información de los equipos de la compañía como su localización, sus paradas programadas y no programadas, tiempos muertos, trabajos realizados y los recursos empleados.

La implementación de un sistema de información para la gestión del mantenimiento busca que exista una continuidad en el programa de mantenimiento, para garantizar

¹⁶ BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. Bogotá: SENA, 1991. 90p.

que los procesos se realicen sin interrupciones. Por lo general los CMMS que se ofrecen en el mercado están compuestos de 7 módulos básicos: Hojas de vida de activos, planes de trabajo, cronograma de trabajo y actividades, ordenes de trabajo, reportes de grupo (informes), reunión de seguimiento diario (control de actividades) y listas de piezas de cada equipo por intervención.

Figura 31. Módulos de un CMMS

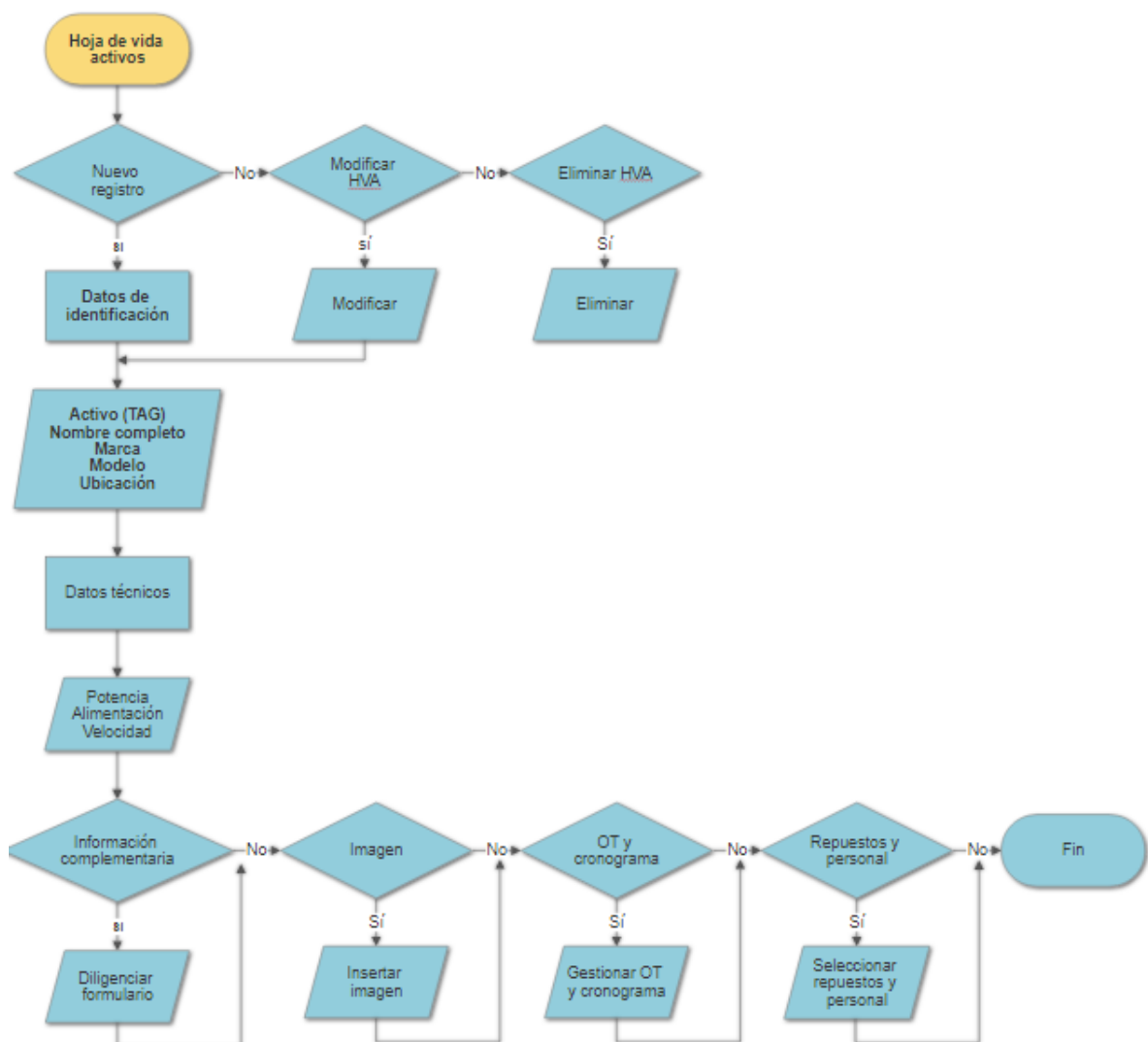


Toda la información que contiene el CMMS está disponible de inmediato y de manera organizada para el departamento de mantenimiento de la compañía, lo cual facilita la toma de decisiones acertadas frente a inconvenientes o averías que se presentan día a día.

8.1 HOJA DE VIDA DE EQUIPOS

La hoja de vida de los equipos es un formato que permite identificar un activo o máquina. Este documento presenta las características más importantes del equipo, datos técnicos e información complementaria como por ejemplo el historial de fallas e intervenciones, fotografías, catálogos, manuales y repuestos.

Figura 32. Diagrama de flujo hojas de vida



8.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma de actividades es una herramienta muy importante en la gestión del mantenimiento. El cronograma incluye una lista de actividades o tareas con las fechas estipuladas de comienzo y final. Se pueden planear cualquier tipo de tareas como predictivas, correctiva programada, preventiva, inspecciones, etc.

Figura 33. Ejemplo cronograma de actividades

ITEM	ACTIVIDADES	TIEMPO	RESPONSABLE	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Implementar la ejecución de programas de mantenimientos preventivos.	6 (mes)	Gerencia de Operaciones y Mantenimiento	■	■	■	■	■	■												
2	Implementar la programación para ejecutar mantenimiento correctivo.	6 (mes)	Gerencia Mantenimiento y Operaciones	■	■	■	■	■	■												
3	Definir programa anual de mantenimiento de equipos.	6 (mes)	todas las gerencias	■	■	■	■	■	■												
4	Garantizar presupuesto anual para la ejecución de los planes de mantenimiento.	2 (mes)	Administración					■	■												
5	Implementar un control estadístico donde se registren las causas de paradas, los tiempos de paradas, su nivel de frecuencia y se midan los indicadores que monitoreen la gestión de la gerencia de mantenimiento.	3 (mes)	Gerencia Mantenimiento y Operaciones	■	■	■															
6	Iniciar la sustitución o adecuación tecnológica en equipos obsoletos de alta índice en la frecuencia de fallas.	1 (año)	todas las gerencias							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Determinar cuales son los repuestos críticos y que requieran importación a los fines de mantener un stock mínimo que permita evitar paradas en la planta.	3 (mes)	Gerencia de Operaciones y Mantenimiento	■	■	■															
8	Implementar la rutina de inspección semanal en los equipos instalados en las distintas áreas de la planta.	1 (mes)	Gerencia de Operaciones y Mantenimiento	■											■	■	■				
9	Implementar la elaboración de un informe de gestión mensual donde se especifiquen los cumplimientos de planes y estados de los equipos.	3 (mes)	Gerencia de Operaciones y Mantenimiento							■	■	■									
10	Proponer planes de mejora para la adecuación de equipos fuera de los estándares operativos.	6 (mes)	Gerencia de Operaciones y Mantenimiento	■	■	■	■	■	■												
11	Implementar el uso de herramientas informáticas para la programación, documentación y análisis de la gestión de mantenimiento.	3 (mes)	Gerencia de Operaciones y Mantenimiento	■	■	■															

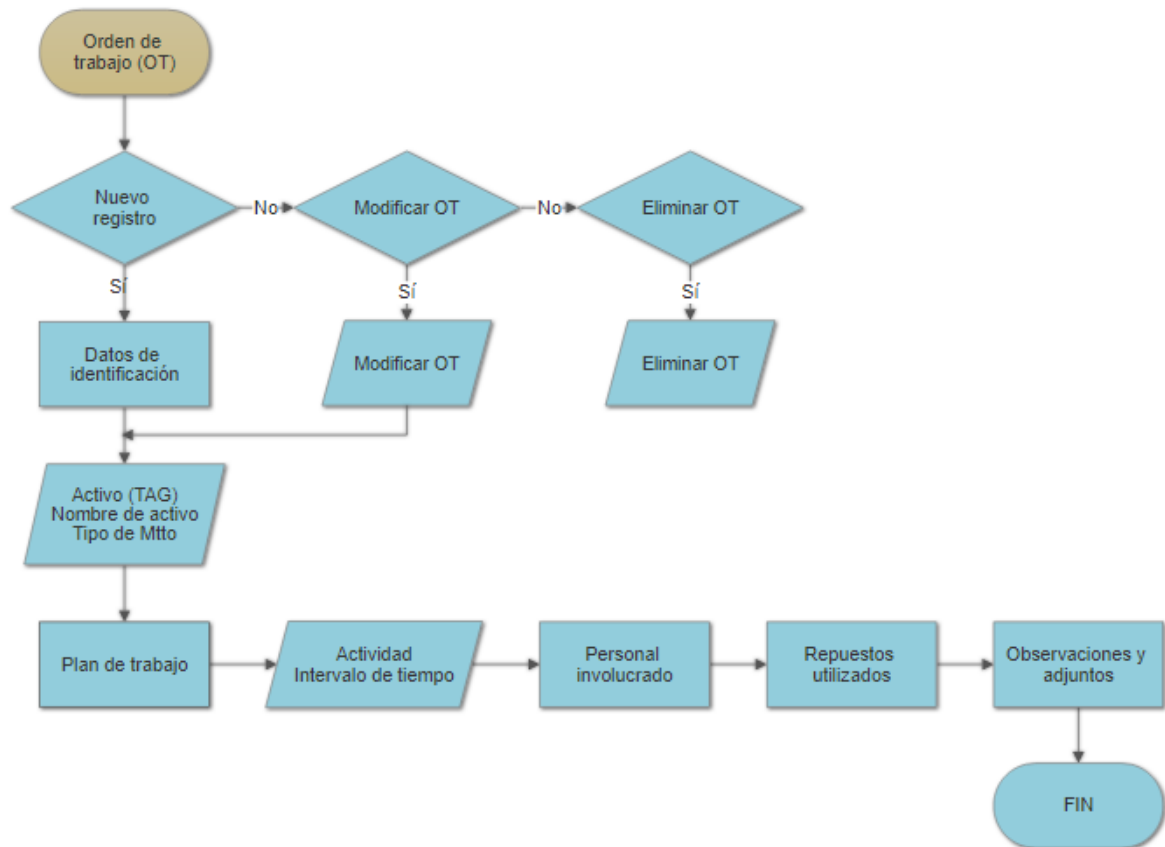
Fuente. Diagrama de Gantt. [En línea]. [Consultado el 16 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://septimoitai2015.blogspot.com.co/2015/04/diagrama-de-gantt.html>

8.3 ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO

Una orden de trabajo “es un documento en el cual se describen las características de un equipo o maquinaria y las acciones de mantenimiento realizadas o por

realizar”.¹⁷ Almacena órdenes y reportes de trabajo, permite llevar control de inventario de repuestos y generar un porcentaje de avance y el personal involucrado.

Figura 34. Diagrama de flujo orden de trabajo



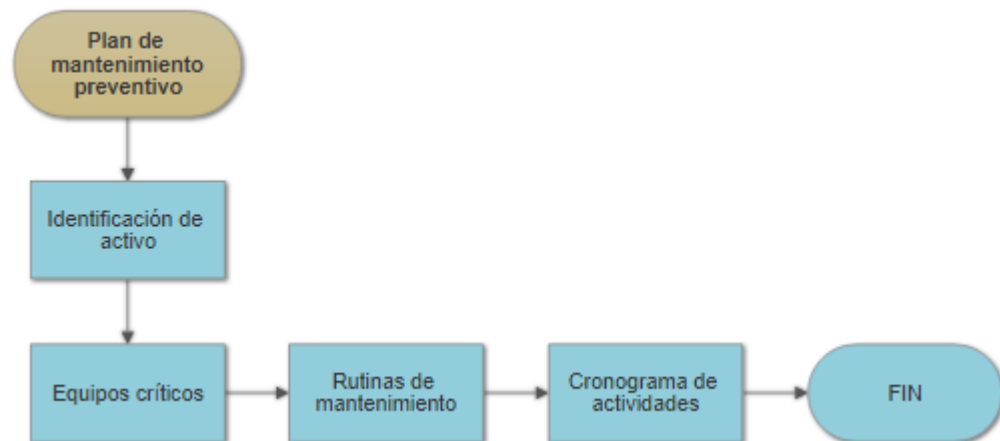
8.4 PLAN DE TRABAJO

Los planes de trabajo son rutinas de mantenimiento específicas para cada máquina con una periodicidad determinada de tiempo (diario, mensual, semestral, etc.). Se pueden desarrollar planes de trabajo de inspección, verificación y lubricación, como

¹⁷ Definición de orden de trabajo. [En línea]. [Consultado el 16 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://www.definicionabc.com/general/orden-de-trabajo.php>

también, planes de trabajos para el mantenimiento preventivo de los equipos críticos.

Figura 35. Diagrama de flujo plan de mantenimiento preventivo



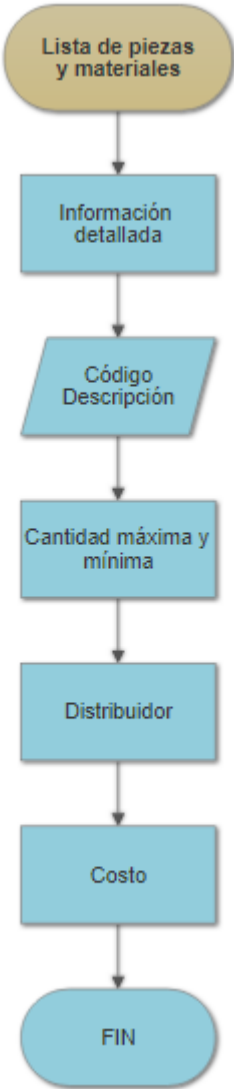
8.5 REPORTE DE GRUPOS DE ANÁLISIS

Esta herramienta permite crear informes en cualquier rango de fechas. Muestra indicadores generales de mantenimiento como por ejemplo confiabilidad y disponibilidad. También genera modos de fallas, costo de repuestos y horas hombre. Todo esto para llevar un control y desarrollo del plan de mantenimiento.

8.6 LISTA DE PIEZAS Y MATERIALES

El inventario contiene el listado de piezas necesario para cada activo en cada intervención. Es importante llevar control sobre el stock actual de bodega para obtener los recursos faltantes o determinar un mínimo y máximo de repuestos.

Figura 36. Diagrama de flujo listado de piezas



9. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

9.1 REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA

Con el fin de seleccionar el mejor sistema de información que se ajuste a las necesidades de la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S, es necesario conocer los aspectos que se desean alcanzar.

A continuación se presentan los parámetros de funcionalidad y características seleccionadas por la empresa que debe presentar el software. Estas características se establecen con base en una reunión con el ingeniero a cargo del mantenimiento actual y la gerencia de la empresa. Estos se indican en orden de mayor a menor relevancia.

- Organización de actividades
- Control de intervenciones
- Identificación de fallas
- Fácil de manejar
- Capacidad de almacenamiento
- Adaptabilidad
- Bajo costo de adquisición
- Respaldo de información
- Interfaz amigable
- Respuesta rápida

9.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Realizando un estudio de las características que presentan los sistemas de información para la gestión del mantenimiento disponibles en el mercado, se han establecido los siguientes criterios a los cuales se les evaluará su relevancia mediante la aplicación de la matriz QFD.

- Compatibilidad con la empresa
- Indicadores de gestión
- Bases de datos
- Módulo de hojas de vida
- Módulo de inventarios
- Módulo de cronograma de actividades
- Módulo de órdenes de trabajo
- Módulo de compras
- Modos de falla
- Taxonomía de equipos
- Análisis de costos
- Interfaz gráfica
- Ergonomía de uso

Se ha descartado el diseño y desarrollo de un software, especialmente por los altos costos y el tiempo que conlleva este proceso y se ha optado por la selección de un sistema de información que se adapte a las necesidades de la empresa.

9.3 MATRIZ DE CALIDAD QFD

Con el fin de encontrar cuáles de los criterios propuestos atienden a lo que busca la empresa con la implementación de un software de mantenimiento, se realizará una evaluación de los criterios de selección en comparación con los requerimientos de la empresa.

Tabla 34. Matriz QFD

QFD	Prioridad	Compatibilidad con la empresa	Indicadores de gestión	Bases de datos	Módulo de hojas de vida	Módulo de inventarios	Módulo de cronograma de actividades	Módulo de órdenes de trabajo	Módulo de compras	Modos de falla	Taxonomía de equipos	Análisis de costos	Interfaz gráfica	Ergonomía de uso
Organización de actividades	10	3	0	3	3	9	9	9	1	0	3	1	0	0
Control de intervenciones	9	1	0	3	9	9	9	9	3	1	1	1	0	1
Identificación de fallas	8	1	3	9	9	0	1	1	0	9	9	1	1	3
Fácil de manejar	7	9	1	9	9	9	9	9	9	1	1	1	9	9
Capacidad de almacenamiento	6	9	0	9	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
Adaptabilidad	5	9	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	9	9
Bajo costo de adquisición	4	9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	3	3
Respaldo de información	3	9	1	9	1	1	1	1	1	0	3	1	0	0
Interfaz amigable	2	9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	9	9
Respuesta rápida	1	3	1	1	3	1	3	1	1	0	0	0	0	3
Ponderación		293	56	295	291	277	287	285	143	115	162	74	146	174
Puesto		2	13	1	3	6	4	5	10	11	8	12	9	7

9.4 PONDERACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Se procede a seleccionar los requerimientos que tienen más peso a la hora de evaluar las alternativas de selección del CMMS.

Tabla 35. Ponderación de los requerimientos

Requerimientos	Puntaje	Porcentaje [%]
Base de datos	295	15,50
Compatibilidad con la empresa	293	15,40
Módulo de hojas de vida	291	15,29
Módulo de cronograma de actividades	287	15,08
Módulo de órdenes de trabajo	285	14,98
Módulo de inventarios	277	14,56
Ergonomía de uso	174	9,14
Total	1902	100

9.5 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

A continuación se describen tres alternativas basadas en los requerimientos más relevantes para determinar y seleccionar la que mejor se adapte.

9.5.1 Alternativa 1: INFOM@NTE®: Infom@nte® es un CMMS que integra las necesidades del área de mantenimiento en forma de módulos. Posee la capacidad de dar valor a los recursos planeados o utilizados de una O.T. y también permite totalizar los costos de estos; además permite su utilización desde distintas estaciones de trabajo, cooperando en tareas multiusuario o de esquema cliente servidor.

La pantalla principal se organiza de modo que presenta 4 divisiones: ingeniería de mantenimiento, administración de intervenciones, apoyo y configuración. Dentro de estas 4 divisiones se clasifican los módulos de trabajo.

- Taxonomía de activos
- Análisis de criticidad
- Inventarios
- Plan de mantenimiento
- Identificación del trabajo
- Planeación y programación
- Ejecutor de O.T.
- Documentación del trabajo
- Contratación
- Personal
- Indicadores de gestión
- Información técnica
- Costos y presupuesto
- Almacén
- Compras
- Tiempos perdidos
- Seguridad
- Configuración

Figura 37. Pantalla principal Infom@nte®



Fuente: Soporte y compañía. [En línea]. [Consultado el 16 de noviembre de 2017].
Disponibile en: <http://www.soporteycia.com>

9.5.2 Alternativa 2: SAIM®: SAIM® es el acrónimo de SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO y tiene como fin facilitar la gerencia y administración diaria de los sistemas de mantenimiento al interior de una compañía¹⁸. Este CMMS cuenta con varios módulos en los que se destacan la taxonomía de equipos, hojas de vida, órdenes y reportes de trabajo, cronograma de mantenimiento y análisis e indicadores.

Esta herramienta garantiza la ergonomía de uso, contando con una interfaz gráfica muy amigable con el usuario que facilita su utilización y manejo.

¹⁸ APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

Figura 38. Pantalla de inicio SAIM



Fuente: APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

Figura 39. Módulo de hoja de vida de activos

Fuente: APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

9.5.3 Alternativa 3: SYSCOM: SISTEMAS COMERCIALES SYSCOM S.A. es una compañía colombiana que ofrece soluciones de software para diferentes sectores comerciales, especializados en estaciones de servicio, empresas de transporte y mayorista de combustible¹⁹. Cuenta con diferentes programas como por ejemplo de gestión de manejo integrado de facturación e inventarios, mantenimiento vehicular, contabilidad, nómina y recurso humano, gestión transporte de carga, entre otros. Este software busca gestionar las operaciones de forma organizada y eficiente para aumentar la productividad brindando un excelente servicio.

Figura 40. Módulo de orden de trabajo en SYSCOM

Sistema	Tipo	Código	Nombre de Variable	Valor	Unidad	Observación	Intervalo	Mtto.
LLANTAS	PREVI	0002	REVISION LLANTAS					
SISTEMA DE FRENOS	PREVI	0001	REVISION LIQUIDO FRENOS	1			1-5	Sí
SISTEMA DE ACEITE	PREVI	0005	CAMBIOS DE ACEITE	EXCELENTE			0-0	No

Fuente: Sistema de información SYSCOM.

¹⁹ <http://www.syscom.com.co>

9.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta los porcentajes de peso para cada especificación, se van a calificar las alternativas con el fin de encontrar la mejor y seleccionarla.

Tabla 36. Evaluación de alternativas

Criterio	Porcentaje [%]	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Infomante		SAIM		SYSCOM	
Base de datos	15,50	5	0,77	4	0,62	4	0,62
Compatibilidad con la empresa	15,40	3	0,46	5	0,77	1	0,15
Módulo de hojas de vida	15,29	5	0,76	5	0,76	3	0,45
Módulo de cronograma de actividades	15,08	4	0,60	5	0,75	4	0,6
Módulo de órdenes de trabajo	14,98	4	0,59	5	0,74	3	0,44
Módulo de inventarios	14,56	4	0,58	5	0,72	4	0,58
Ergonomía de uso	9,14	2	0,18	5	0,45	1	0,09
Total	100		3,94		4,81		2,93

Gracias a los resultados obtenidos en la anterior tabla, la alternativa ganadora es la número 2. Se va a seleccionar el software SAIM debido a que es el que mejor se adapta a los requerimientos y necesidades de la empresa.

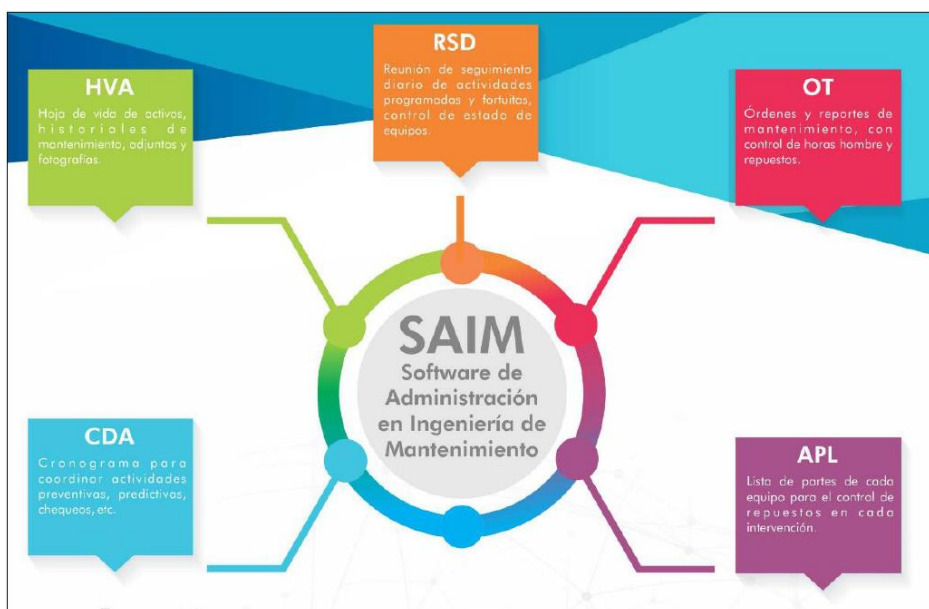
10. SISTEMA DE INFORMACIÓN SAIM PARA LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

10.1 DESCRIPCIÓN SAIM

“SAIM® es el acrónimo de SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO y tiene como fin facilitar la gerencia y administración diaria de los sistemas de mantenimiento al interior de una compañía”.²⁰

SAIM® se compone de 8 módulos principales los cuales son: hoja de vida de activos (HVA), cronograma de actividades (CDA), plan detallado de trabajo (PDT), reporte de grupo de análisis (RGA), órdenes de trabajo (OT), reunión de seguimiento diario (RSD), listado de partes (APL) y Análisis de seguridad en el trabajo (AST).

Figura 41. Descripción SAIM



Fuente: SIERRA, Alejandro. Implementación de gestión de mantenimiento & SAIM

²⁰ APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

Entre las funciones que presenta el software, se pueden destacar la administración de órdenes y reportes de mantenimiento, hojas de vida de activos, cronograma de actividades, control de repuestos entre otros.

10.1.1 Ingreso a la aplicación. Después de haber hecho la debida instalación del software, se procede a abrir la aplicación desde el ícono de SAIM.

Figura 42. Ingreso



Fuente: APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

10.1.2 Login. El sistema de información solo permite la entrada al administrador o los usuarios que han sido creados con anterioridad. La pantalla de inicio muestra la siguiente información:

Usuario: Campo numérico de identificación del usuario, puede ser un código personalizado o la cédula de ciudadanía.

Contraseña: Por defecto es el mismo usuario, el usuario debe cambiarla en su primero ingreso a SAIM®.

Guardar credenciales: Al seleccionar esta opción SAIM® almacenará la ubicación actual como segura y guardará los valores escritos en usuario y contraseña.

Autoingreso: Al abrir SAIM®, el sistema ingresará automáticamente a la aplicación al tener las credenciales guardados.

Logo de la empresa: el usuario puede configurar el logo y nombre de la empresa por el propio, en el espacio del recuadro rojo.²¹

Figura 43. Login

Bienvenido a SAIM

Login Conexión

FORMADCOL
Formaletas Metálicas de Colombia

Usuario: 111

Contraseña: ***

Guardar credenciales

Autoingreso

Ingresar

Conectado a: 107.161.180.122 saim02 dbo

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

10.1.3 Inicio. En la pantalla de inicio se encuentran las opciones de cerrar sesión, configuraciones que permiten la creación y edición de nuevos usuarios, perfil, cronograma de actividades que muestra las tareas pendientes por realizar y los cuatro módulos principales del software los cuales son orden de trabajo (OT), hoja de vida de activos (HVA), reunión de seguimiento diario (RSD) y utilidades de mantenimiento (UM).

²¹ APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

involucrado y los repuestos a utilizar. Así mismo cuenta con una pestaña de complementos para imprimir las órdenes de trabajo o crearlas en formato pdf.

Igualmente esta ventana concede crear nuevas órdenes de trabajo, eliminarlas, duplicarlas e insertar los planes detallados de trabajo previamente almacenados.

Figura 46. Detalle orden de trabajo

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

10.1.5 Hoja de vida de activos (HVA). Este módulo muestra el listado de las hojas de vida de los equipos de la empresa y permite crearlas o editarlas detalladamente.

Figura 47. Lista de hojas de vida

Activo (TAG)	Barcode	Nombre de activo	Ubicación	Dpto	Especialidad	Familia	Sistema	Grupo PDT	Hori	M.
P1-ZM-ATC-01	0	ALIMENTADOR TORNO CNC	PRODUCCIÓN 1	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO	ALIMENTADORES	24	FEDEI	
P1-ZA-COR-01	0	CORTADORA 1	PRODUCCIÓN 1	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO	CORTADORAS	24	ERM/	
P1-ZA-COR-02	0	CORTADORA 2	PRODUCCIÓN 1	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO	CORTADORAS	24	ERM/	
P1-ZD-DOB-01	0	DOBLADORA 1	PRODUCCIÓN 1	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO	DOBLADORAS	24	ERM/	
P1-ZD-DOB-02	0	DOBLADORA 2	PRODUCCIÓN 1	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24	ADIR/	
AM-ZB-ECP-01	0	EQUIPO DE CORTE DE PLASMA 1	ALMACEN	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24	HYPE	
AM-ZB-ECP-02	0	EQUIPO DE CORTE DE PLASMA 2	ALMACEN	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24	HYPE	
P1-ZA-TRO-01	0	TROQUELADORA 1	PRODUCCIÓN 1	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24		
P2-ZL-AIR-10	0	AIRE ACONDICIONADO 10	PRODUCCIÓN 2	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24	SAM/	
MT-ZP-CP1-01	0	CABINA DE PINTURA 1	MANTENIMIEN	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24	ALIAN	
P2-ZP-CP1-02	0	CABINA DE PINTURA 2	PRODUCCIÓN 2	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24	SIFAP	
P1-ZT-CCP-01	0	CABINA MESA DE CORTE PLASMA	PRODUCCIÓN 1	MANTENIMIENTO UNICA	UNICA	UNICO		24	ALIAN	

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

El módulo de detalle comprende los datos de identificación del activo donde se puede ingresar su código, nombre completo, marca, modelo, serie, ubicación dentro de la empresa, departamento, especialidad, familia y sistema; además cuenta con espacio para los datos técnicos de potencia, velocidad, peso, dimensionamiento y alimentación. También es posible ingresar la información acerca del proveedor y la fecha de adquisición del equipo.

Figura 48. Detalle hoja de vida de activos

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

Asimismo es posible almacenar imágenes del activo. Muestra todas las órdenes de trabajo relacionadas con el equipo, el personal y los repuestos que han sido utilizados en cada intervención reportada a través de una OT y la bitácora de estado del equipo que resume todos los estados de disponibilidad y confiabilidad registrados en el módulo RSD.

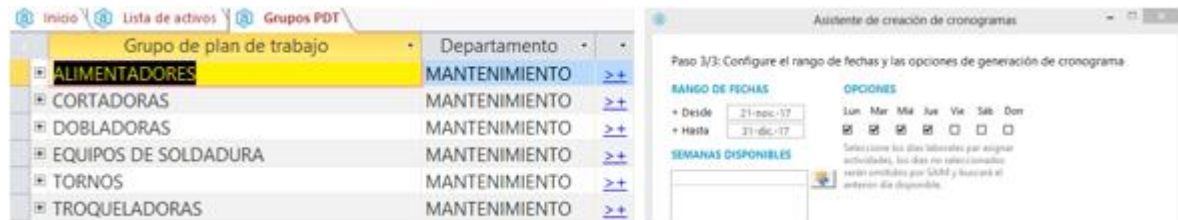
Figura 49. Imagen hoja de vida de activos



Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

10.1.6 Plan detallado de trabajo (PDT). “Almacena plantillas de planes de trabajo agrupables (por familia de activos o especialidad de trabajo) que se pueden subdividir en rutinas de mantenimiento específicas para una periodicidad determinada por el usuario (semestral, mensual, diaria, etc.)” ²²con un listado de repuestos y recursos necesarios. Desde esta misma ventana se puede crear actividades en el cronograma rápidamente con un asistente muy práctico.

Figura 50. Plan detallado de trabajo



Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

²² SIERRA, Alejandro. Implementación de gestión de mantenimiento & SAIM

10.1.7 Cronograma de actividades. El cronograma permite identificar fácilmente todas las intervenciones de activos pendientes o finalizados en el mes. También permite explorar otros meses o años.

Figura 51. Cronograma de actividades

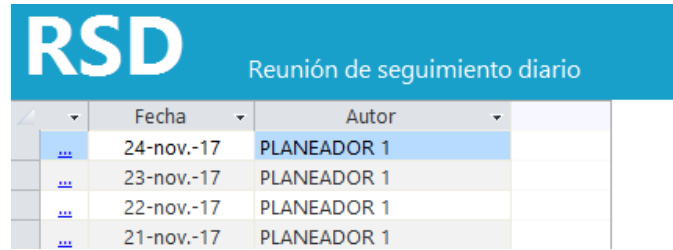
The screenshot shows the 'CDA Cronograma de actividades' interface. At the top, there is a header with the 'CDA' logo, the title 'Cronograma de actividades', and a radio button option 'Agrupar activos en la vista de calendario'. The main area is a calendar grid for January 2018, with columns for 'Lunes', 'Martes', 'Miércoles', 'Jueves', 'Viernes', 'Sábado', and 'Domingo'. Each day cell contains a list of activity codes, such as 'UNI P1-ZA-TR', 'UNI P1-ZA-CC', 'UNI P1-ZM-TOR', and 'UNI P1-ZD-DC', with small up/down arrows next to some codes. The dates 01 through 31 are visible in the grid.

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

10.1.8 Reunión de seguimiento diario (RSD). “El módulo RSD contiene las reuniones de seguimiento diaria de apertura (mañana) y cierre (noche) que se hace al interior de un equipo de trabajo, con el fin de registrar las actividades planeadas y ejecutadas cada día, así como anomalías en activos y otros datos de interés de la compañía”.²³

²³ APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

Figura 52. Reunión de seguimiento diario



	Fecha	Autor
...	24-nov.-17	PLANEADOR 1
...	23-nov.-17	PLANEADOR 1
...	22-nov.-17	PLANEADOR 1
...	21-nov.-17	PLANEADOR 1

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

10.1.9 Utilidades de mantenimiento (UM). El último módulo del software contiene algunos complementos como por ejemplo definiciones de estado, grupos de análisis, lista de partes, modos de falla, lista de AST, lista de piezas y materiales, etc. que ayudan a profundizar el programa de mantenimiento.

Figura 53. Utilidades de mantenimiento



Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

La ventana de definiciones de estado permite reportar las paradas de los equipos y definir la causa de esta.

Los grupos de análisis agrupan los activos para generar indicadores de confiabilidad, disponibilidad, repuestos y horas hombre. “El software despliega la

matriz de criticidad, permite hacer la evaluación de los activos y definir cada uno de los elementos de evaluación”.²⁴

Figura 54. Grupos de análisis

RESUMEN		MATRIZ DE CRITICIDAD							
Grupo	OPERATIVOS	TIPO A		TIPO B		TIPO C			
		Elementos de evaluación	Desde	Valor: 2 puntos	Hasta	Desde	Valor: 1 punto	Hasta	Valor: 0 puntos
Equipos	13			2,00		1,00		0,00	0,80
Activos A	Plan de acción	L Legislación y auditorías	5,0%	Está sujeto a la legislación y es obligatorio su desmontaje periódico		Es sujeto a auditorías internas y/o externas		No está sujeto a la legislación o auditorías	
%	30,77%	S Seguridad, pelación y entorno	5,0%	Una falla podría causar serios problemas de seguridad y entorno en el área circundante		Una falla podría causar algunos problemas de seguridad y entorno en el área circundante		Una falla no causará problemas de seguridad o entorno en áreas circundantes	
Activos B	Plan de acción	Q Calidad y rendimiento	5,0%	Una falla podría causar productos defectuosos o afectar seriamente el rendimiento		Una falla podría causar variaciones de calidad o afectar moderadamente el rendimiento		Una falla no podría afectar ni la calidad ni el rendimiento	
%	61,54%	W Estatus de operación	25,0%	Más de 12 horas de operación al día		Más de 6 horas de operación al día		Operación intermitente	
Activos C	Plan de acción	D Factor de retraso (costos de oportunidad)	25,0%	Una falla de mas de 1 hora pararía o retrasaría el segmento de producción		Una falla de mas de 3 horas pararía o retrasaría el segmento de producción		Está disponible una unidad de reserva; es más económico esperar el fallo y repararlo	
%	7,69%	P Periodo (intervalo de falla)	15,0%	Paradas frecuentes (cada 6 meses o menos)		Paradas ocasionales (aproximadamente una vez al año)		Difícilmente se produce una parada en un año	
PASO A PASO		M Mantenibilidad	20,0%	Tiempo de reparación mayor de 6 horas y/o costo de reparación mayor a \$1000 USD		Tiempo de reparación de 2 a 6 horas y/o costo de reparación de \$300 a \$1000 USD		Tiempo de reparación menor de 2 hora y/o costo de reparación menor a \$300 USD	

Fuente: APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

Figura 55. Matriz de criticidad

Activo (TAG)	Nombre de activo	L	S	Q	W	D	P	M	Puntuación	Criticidad
TF-01	Trituradora fija (Pequeña)	C	C	B	A	A	B	A	1,60	A
TM-01	Trituradora móvil (grande)	C	C	B	A	A	B	A	1,60	A
PA-03	Compresor Toro ACPM	C	C	B	C	A	A	A	1,25	A
PA-02	Compresor Zapatocha ACPM	C	C	B	C	A	A	A	1,25	A
C3-02	Cargador de ruedas 930-02	C	C	C	B	C	A	A	0,95	B
C2-02	Cargador de ruedas 920-02	C	C	C	B	C	A	A	0,95	B
C3-01	Cargador de ruedas 930-01	C	C	C	B	C	A	A	0,95	B
C3-04	Cargador de ruedas 930-04	C	C	C	B	C	A	A	0,95	B

Fuente: APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

El formulario de lista de partes APL “cruza la cantidad requerida con las existencias de inventario mostrando con colores los ítems que tiene stock suficiente (verde),

²⁴ APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

que quedan en cero o por debajo del mínimo (amarillo) o los que no existe la cantidad suficiente (rojo)”²⁵.

Figura 56. Lista de partes APL

Código	Referencia	Descripción corta	Unid.	NOY	SCH	Valor unitario	Valor parcial	Observaciones	Im	h
1210035	1210035	107560-B ELEMENT,OIL FILTER, 38" LONG,IR EA	EA	0	4	64.772,00	0,00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1210075	1210075	168560-B ELEMENT,OIL FILTER, 38" LONG, U EA	EA	0	5	93.932,17	0,00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1216100	1216100	P/NL 010350060 ELEMENTO SEPARADOR, CC EA	EA	0	2	858.400,00	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1215380	1215380	69180K ELEMENT, AIR CLEANER, F/ENGINE EA	EA	0	10	259.109,00	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1520910	1520910	5580C803R31 STARTER, AIR, COMPLETE, F EA	EA	0	3	10.076.575,00	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1530190	1530190	201904-6H COVER, BACK, F/ALTRONIC II IGI EA	EA	0	13	4.258.072,00	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2235500	2235500	HUB AND FAN, 144" DIAMETER, 7 BLADES, 2 EA	EA	0	1	12.554.451,72	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111222	31111222	P/N A209210, BEARING, CONNECTING ROD, EA	EA	0	12	468.418,17	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111408	31111408	P/N 26730, P/NL ROD, .19 X 58 LG, F/ENGINE EA	EA	2	6	3.002,00	2.004,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111467	31111467	P/N C209307C, ROD, CONNECTING-ASSEMB EA	EA	0	3	5.375.588,67	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111916	31111916	P/N 153029, SHIM CAMSHAFT, F/ENGINE W EA	EA	9	8	5.154,00	46.856,00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31111920	31111920	P/N 153032, THRUST RING, CAMSHAFT, F/EN EA	EA	0	2	89.071,00	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111990	31111990	153121 GASKET OIL PAN DOOR, F/ENGINE I EA	EA	0	9	28.092,96	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111855	31111855	P/N 199231C, DAMPER VIBRATION 24" TURB EA	EA	0	1	6.590.907,00	0,00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111694	31111694	204009H GUIDE, VALVE INTAKE, NATURALL EA	EA	0	24	75.513,50	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111738	31111738	153219E GEAR, GOVERNOR, F/ENGINE MOD EA	EA	0	2	696.971,00	0,00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31111755	31111755	A159754D ROD, PUSH, F/ENGINE MOD, F-2 EA	EA	24	6	368.703,95	8.848.890,60		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31111876	31111876	153648B GASKET,ROCKER ARM COVER, F/EN EA	EA	12	61	38.076,33	464.115,96		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Total						62	127.191.889,86			

Fuente: APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

La ventana de modos de falla da una lista de tipos de falla recomendados por Apping S.A.S. “los cuales pueden ser editados, reemplazados o simplemente agregar nuevos tipos y zonas de falla que se presente en la empresa”²⁶.

Asimismo la pestaña de lista de piezas y materiales muestra el listado completo de piezas en el inventario, la cantidad total disponible y la cantidad máxima y mínima que debe haber en bodega.

²⁵ APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

²⁶ Ibídem

Figura #. Lista de piezas y materiales

Detalle de pieza

INFORMACIÓN

Código: 11050174 Referencia: 11050174

+ Descripción: BIT, ROCK, 8-1/2", TYPE HSS1J, 4-1/2", PIN REG, "REED"

+ Descripción corta: BIT, ROCK, 8-1/2", TYPE HSS1J, 4-1/2", PIN REG, "REED"

Unid: EA SOH Total: 1,00

Máx SOH: 0,00 Min SOH: 0,00

Máx costo estimado: 140.541,00 Máx SAP: 140.541,00

EXISTENCIAS


C	Bodega	SOH	Máx SOH	Min SOH	Costo estimado	SAP
1	WHASOC	0,00	0,00	0,00	140.541,00	140.541,00
2	WHASOC	1,00	0,00	0,00	140.541,00	105.405,75
2	WHMAIN	0,00	0,00	0,00	140.541,00	103.924,00

Fuente: APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

10.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN SAIM

Luego de ingresar todos los datos e información del programa de mantenimiento preventivo para poner a punto el software SAIM, se generan las hojas de vida de cada uno de los activos, las órdenes de trabajo provenientes de los planes de trabajo y el cronograma de actividades.

Figura 57. Informe de hoja de vida generada por SAIM



FORMADCOL
Formalesas Metálicas de Colombia

Informe de hoja de vida

P1-ZA-COR-02

Desde 01-ene.-18

Hasta 04-ene.-18

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

Nombre corto (TAG)	P1-ZA-COR-02	Autor	PLANEADOR 1
Nombre completo	CORTADORA 2	Departamento	MANTENIMIENTO
Usuario	APPING	Agrupación	
Fecha creación	27/10/2017 4:54:04 p. m.	Especialidad	UNICA
Marca	ERMAK	Familia	UNICA
Modelo	HGS-A 3100-6	Sistema	UNICO
Serie	06565-L8RHTM	Grupo de análisis	
Centro de costo		Grupo PDT	CORTADORAS
Area/Ubicación	PRODUCCIÓN 1- ACONDICIONAMIE	Función/Servicio	

DATOS TÉCNICOS

Cédula/Barcode	0
Motor	ERMAKSAN
Potencia/Capacidad	11 KW
Alimentación	220 V
Velocidad/RPM	1570 RPM
Peso	5150 kg
AltosxAnchosxProfun	1580x2150x4000 mm

DATOS DE ORIGEN Y OUTSOURCING

Proveedor	IMOCOM S.A.
País de origen	
Fecha fabricación	

OTROS

Verificación	0	Patrón	<input type="checkbox"/>
Calibración	0	Activo	<input checked="" type="checkbox"/>

DATOS TÉCNICOS



Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

Figura 58. Informe orden de trabajo generado por SAIM



ORDEN DE TRABAJO

OT-12-17 Fecha inicio 01-ene.-18 Autor AS Usuario APPING Activo P1-ZA-COR-02
 Nombre CORTADORA 2 Ubicación PRODUCCIÓN 1-ACONDICIONAMIENTO
 Título MTO TRIMESTRAL SIST. MECÁNICO

INFORMACIÓN BÁSICA

Estado	PENDIENTE
Especialidad	UNICA
Tipo de mantenimiento	PREVENTIVO
Programado	SÍ
Avance de proyecto	0,00%
CC/AFE	0
Condición	

RESUMEN DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	TIEMPO (MM)
Charla preoperacional	
Permiso de trabajo	
Retiro de materiales	
Transporte	
Tiempo efectivo labor	65
Cierre del permiso	
Informe	

RESUMEN DE DURACIÓN

Fecha Incb	01-ene.-18
Hora Inicio	
Fecha fin	
Hora fin	
TIEMPO TOTAL DE EJECUCIÓN	
1 HH	5 MM

DETALLE DE ACTIVIDADES

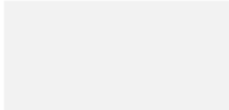
R	ACTIVIDAD	MM	Ok
AS	Verifique que la máquina no tenga sujetadores flojos, especialmente el perno de la viga de sujeción - Apriete si es necesario.	30	<input type="checkbox"/>
AS	Revisar el desgaste de todas las piezas mecánicas, (bancada, bastidor, mesa, corredera o porta cuchilla)	20	<input type="checkbox"/>
AS	Engrase los bloques de pivote del respaldo, las abrazaderas del cilindro y el tornillo de separación de la cuchilla.	15	<input type="checkbox"/>
TOTAL		65	


INSUMOS UTILIZADOS

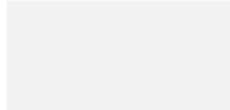
PERSONAL INVOLUCRADO

NOMBRE CORTO	CARGO
PLANEADOR 1	PLANEADOR DE MANTENIMIENTO

OBSERVACIONES

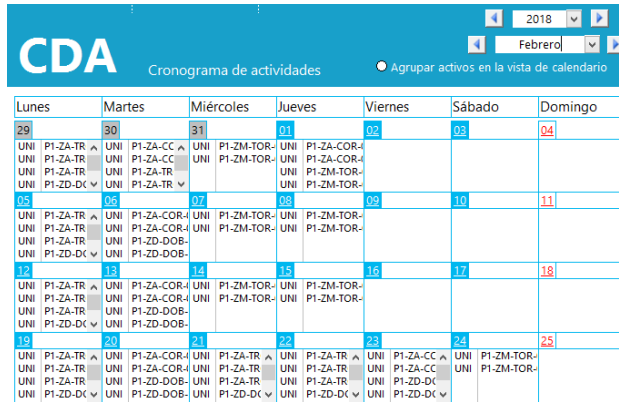

 ENCARGADO
 PLANEADOR 1


 SUPERVISOR
 PLANEADOR 1


 COORDINADOR
 PLANEADOR 1

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

Figura 59. Cronograma de actividades generado por SAIM



Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

La lista de actividades permite saber la fecha estipulada para la cual han sido establecidos los mantenimientos preventivos.

Figura 60. Lista de actividades preventivas

Esp	Plan de trabajo	Título	Activo (TAG)	Nombre de equipo	Fecha estimada
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZA-TRO-01	TROQUELADORA 1	22-ene-18
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZA-TRO-05	TROQUELADORA 5	22-ene-18
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZA-TRO-08	TROQUELADORA 8	22-ene-18
UNI	DOBLADORAS	MITO SEMANAL SIST. ACCIONAMIENTO	P1-ZD-DOB-01	DOBLADORA 1	22-ene-18
UNI	DOBLADORAS	MITO SEMANAL SIST. ACCIONAMIENTO	P1-ZD-DOB-02	DOBLADORA 2	22-ene-18
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZT-TRO-02	TROQUELADORA 2	22-ene-18
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZT-TRO-03	TROQUELADORA 3	22-ene-18
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZT-TRO-04	TROQUELADORA 4	22-ene-18
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZT-TRO-05	TROQUELADORA 5	22-ene-18
UNI	TROQUELADORAS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZT-TRO-07	TROQUELADORA 7	22-ene-18
UNI	TORNOS	MITO SEMANAL SIST. REFRIGERACIÓN	P1-ZM-TOR-01	TORNO PARALELO	18-ene-18
UNI	TORNOS	MITO SEMANAL SIST. REFRIGERACIÓN	P1-ZM-TOR-02	TORNO REVOLVER	18-ene-18
UNI	TORNOS	MITO SEMANAL SIST. MECÁNICO	P1-ZM-TOR-01	TORNO PARALELO	17-ene-18

Fuente: Sistema SAIM, PANELES ESTRUCTURALES S.A.S – FORMADCOL

10.3 CAPACITACIÓN

La capacitación es una herramienta fundamental para la administración de recursos humanos, la cual ofrece la capacidad de mejorar la eficiencia de trabajo de la empresa, permitiendo que esta se adapte a nuevas circunstancias que se presentan tanto afuera, como dentro de la misma organización.

Con la implementación de nuevas tecnologías y modos de trabajo es importante que el personal de la empresa que se va a ver involucrado reciba los conocimientos y competencias necesarias para afrontar los cambios y de esta manera generar resultados positivos en periodos más cortos.

Teniendo en cuenta lo anterior se llevó a cabo una capacitación en la cual estuvo presente el director general de planta y dos auxiliares más.

Los temas tratados fueron la identificación, generalidades, módulos, utilidades y beneficios del sistema de información SAIM; además se abrió un espacio para la solución de dudas e inquietudes que pudieran presentar los asistentes, las cuales fueron resueltas. De forma paralela a la capacitación se instalaron copias del software en ordenadores de la empresa para facilitar el aprendizaje personalizado y profundizar en cuanto al funcionamiento a cada uno de los encargados del manejo del mantenimiento. Ver Anexo G por más soportes sobre la capacitación.

Figura 61. Ficha técnica capacitación

**FICHA TÉCNICA CAPACITACIÓN MANEJO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN SAIM®
APLICADO EN LA EMPRESA PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. - FORMADCOL**

Objetivo: Poner en funcionamiento el software o la herramienta de trabajo para agilizar y operativizar las tareas de mantenimiento en la empresa.

Justificación: Dar a conocer al responsable de la empresa la herramienta de mantenimiento para que desarrolle habilidad en el uso adecuado y así garantizar el funcionamiento y puesta en marcha de la misma

Temas desarrollados:

1. Identificación de software
2. Generalidades del software
3. Módulos del software
4. Utilidades
5. Beneficios de la implementación
6. Puesta en marcha y funcionamiento

Modalidad: Taller con asistencia permanente de los estudiantes, despejando dudas en el funcionamiento con ejemplos en la aplicación del software

11. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para la implementación del sistema información SAIM en la empresa Paneles Estructurales S.A.S – Formadcol es necesario realizar un estudio de viabilidad mediante un análisis de inversión que comprende la estimación de flujos de caja, el cálculo del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el plazo de recuperación de la inversión (PAY-BACK).

Para realizar el estudio de viabilidad, inicialmente hay que determinar la inversión que se debe aportar para su ejecución. Es importante resaltar que la empresa tiene el capital necesario y suficiente para hacer la inversión de contado.

Tabla 37. Inversión para la implementación del sistema de información

Concepto	Inversión
Soporte técnico anual SAIM	\$ 4.131.150
Licencia anual SAIM	\$ 3.952.000
Total	\$ 8.083.150

Para obtener el flujo de caja es importante determinar los ingresos y egresos que generaría la implementación de este proyecto.

Dentro de los ingresos producidos por el proyecto se puede destacar el costo del mantenimiento correctivo que se generaba por los 6 activos críticos. Con la nueva implementación del software ya no se realizará este mantenimiento y estos gastos pasarán a ser un ahorro para la empresa.

La estimación del costo de mantenimiento correctivo se calcula a partir de la información recopilada del número de fallas anuales y un promedio de horas de intervención presentes en las hojas de vida de los equipos.

El costo de intervención por hora fue suministrado por IMOCOM, contratista encargada de realizar los mantenimientos correctivos.

Tabla 38. Costo por hora IMOCOM

Precios reparación IMOCOM	
De 1 a 4 horas	\$ 130.000
De 5 a 9 horas	\$ 120.000
10 o mas	\$ 110.000
Sábados y nocturno	Recargo del 150 %
Domingo Diurno	Recargo del 200 %

$$\text{Costo mtto correctivo mensual} = \frac{\sum(N^{\circ} \text{ fallas} * \text{Horas interv.} * \text{Costo hora})}{12}$$

Tabla 39. Cálculo costo mantenimiento correctivo

Costo anual del mantenimiento correctivo				
Mantenimiento correctivo	Número de fallas anuales	Promedio horas de intervención	Costo hora IMOCOM	Costo total
Troqueladoras	8	8	\$ 120.000	\$ 7.680.000
Dobladoras	4	6	\$ 120.000	\$ 2.880.000
Cortadoras	3	6	\$ 120.000	\$ 2.160.000
Montacargas	3	4	\$ 130.000	\$ 1.560.000
Multifuncional Geka	2	6	\$ 120.000	\$ 1.440.000
Tornos	1,5	4	\$ 130.000	\$ 780.000
				Costo mensual
				\$ 16.500.000
				\$ 1.375.000

De igual manera, otro ingreso es el ahorro generado por los costos de pérdidas anuales de producción por tiempos muertos en el mantenimiento correctivo de los activos críticos.

Para determinar estos costos, se toma como base la utilidad anual neta de la empresa en el año 2016. Para hallar la pérdida de producción por hora de cada equipo, se asigna un valor de relevancia, el número de fallas anuales y un promedio

de horas de parada por cada máquina. El promedio de horas de parada se estima en 14 horas de respuesta por parte del contratista encargado del mantenimiento más las horas de intervención.

$$Utilidad\ neta\ por\ hora = \frac{Utilidad\ anual\ neta}{365 * 8}$$

Tabla 40. Utilidad neta 2016

Utilidad anual neta	\$ 4.023.000.000
Utilidad neta por hora	\$ 1.377.740

$$Pérdida\ produc.\ hora = Utilidad\ neta\ por\ hora * Relevancia$$

$$Pérdida\ produc.\ mensual = \frac{\sum(Pérdida\ produc.\ hora * N^o\ fallas * Horas\ parada)}{12}$$

Tabla 41. Costos producción tiempo muerto mantenimiento correctivo

Costos de pérdidas anuales de producción por tiempos muertos en el mantenimiento correctivo						14
Equipos	Relevancia [%]	Pérdida de producción/hora	Número de fallas anuales	Promedio horas parada	Pérdida producción anual	
Troqueladoras	20	\$ 275.548	8	22	\$ 48.496.438,36	
Dobladora	18	\$ 247.993	4	20	\$ 19.839.452,05	
Cortadoras	25	\$ 344.435	3	20	\$ 20.666.095,89	
Montacarga	8	\$ 110.219	3	18	\$ 5.951.835,62	
Multifuncionales GEKA	3	\$ 41.332	2	20	\$ 1.653.287,67	
Tornos	4	\$ 55.110	1,5	18	\$ 1.487.958,90	
Equipos de corte de plasma	1	\$ 13.777			\$ 98.095.068	Costo mensual
Alimetador torno	2	\$ 27.555				\$ 8.174.589
Rectificadora	1	\$ 13.777				
Torno CNC	2	\$ 27.555				
Tanque de pintura	2	\$ 27.555				
Roladora	1	\$ 13.777				
Taladros de arbol	1	\$ 13.777				
Prensa hidraulica	1	\$ 13.777				
Pistolas de pintar	1	\$ 13.777				
Compresor de aire	2	\$ 27.555				
Cabinas de pintar	1	\$ 13.777				
Equipos de soldadura miller	2	\$ 27.555				
Motortools	0,5	\$ 6.889				
Equipos de calibracion	1	\$ 13.777				
Pulidoras	0,5	\$ 6.889				
Purificador de humos	1	\$ 13.777				
Segueta electrica	0,5	\$ 6.889				
sopladora	0,5	\$ 6.889				
Taladros manuales	1	\$ 13.777				
	100	\$ 1.377.740				

Por lo tanto la estimación de ingresos totales es la suma de los costos mensuales del mantenimiento correctivo y la pérdida de producción en tiempos muertos de los equipos críticos a los cuales se les va a aplicar el mantenimiento preventivo.

Tabla 42. Ingresos mensuales

Ingresos mensuales	
Mantenimiento correctivo	\$ 1.375.000
Pérdidas de producción	\$ 8.174.589
Total	\$ 9.549.589

Los egresos generados por la implementación del plan de mantenimiento contemplan el salario y la seguridad social de un ingeniero el cual tendrá el cargo de jefe de mantenimiento. Además, la ejecución del mantenimiento preventivo también generará tiempos muertos de producción en las intervenciones semestrales y anuales. Este tiempo se puede estimar de acuerdo a la información presente en las órdenes de trabajo.

$$t_{muerto} \text{ mensual mto preven} = \frac{\sum(N^{\circ} \text{equipos} * \text{Pérdida produc. hora} * \text{Interven})}{12}$$

Tabla 43. Costo producción tiempo muerto mantenimiento preventivo

Costo tiempo muerto anual del mantenimiento preventivo					
Equipos	N° equipos	Relevancia [%]	Pérdida de producción/hora	Intervenciones [horas]	Costo
Troqueladoras	8	20	\$ 275.548	8	\$ 17.635.068,49
Dobladora	2	18	\$ 247.993	7	\$ 3.471.904,11
Cortadoras	2	25	\$ 344.435	9	\$ 6.199.828,77
Montacarga	3	8	\$ 110.219	6	\$ 1.983.945,21
Multifuncionales GEKA	2	3	\$ 41.332	5	\$ 413.321,92
Tornos	2	4	\$ 55.110	5	\$ 551.095,89
					Costo mensual
					\$ 30.255.164
					\$ 2.521.264

Tabla 44. Egresos mensuales

Egresos mensuales	
Salario ingeniero jefe de mantenimiento	\$ 3.200.000
Seguridad social	\$ 934.400
Tiempo muerto mantenimiento preventivo	\$ 2.521.264
Total	\$ 6.655.664

Luego de obtener la inversión, los ingresos y egresos se procede a evaluar la implementación del plan de mantenimiento. Se plantea un máximo de 12 meses

para la recuperación de la inversión y una tasa de oportunidad (i_{op}) del 10% establecida por la empresa.

$$\text{Flujo de caja} = \text{Ingresos} - \text{Egresos}$$

$$\text{Valor anual} = \frac{\text{Flujo de caja}}{(1 + i_{op})^n}$$

$$\text{Acumulado} = \text{Acumulado anterior} + \text{Valor anual}$$

Tabla 45. Análisis de inversión

ANÁLISIS DE INVERSIÓN						
Concepto		Inversión		Tiempo (meses)		12
Soporte técnico anual		\$ 4.131.150		Tasa de oportunidad		10%
Licencia anual SAIM		\$ 3.952.000		Ingresos		\$ 9.549.589
Total		\$ 8.083.150		Egresos		\$ 6.655.664
MESES	INVERSIÓN	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA	VALOR ANUAL	ACUMULADO
0	-\$ 8.083.150			-\$ 8.083.150	-\$ 8.083.150	-\$ 8.083.150
1		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925	\$ 2.630.841	-\$ 5.452.309
2		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 2.391.674	-\$ 3.060.635
3		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 2.174.249	-\$ 886.386
4		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.976.590	\$ 1.090.204
5		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.796.900	\$ 2.887.104
6		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.633.545	\$ 4.520.649
7		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.485.041	\$ 6.005.691
8		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.350.038	\$ 7.355.728
9		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.227.307	\$ 8.583.035
10		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.115.733	\$ 9.698.768
11		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 1.014.303	\$ 10.713.072
12		\$ 9.549.589	\$ 6.655.664	\$ 2.893.925,34	\$ 922.094	\$ 11.635.165
					VAN	\$ 11.635.165
					TIR	17%
					PAYBACK	4

Se puede observar que a los 4 meses se recuperaría la inversión del proyecto, además de la generación de una ganancia de \$ 11.635.165. Así mismo se evidencia que la TIR correspondiente a un 17% es mayor a las tasa de oportunidad del 10% y el VAN > 0, lo que indica junto a todo lo anteriormente presentado, que el proyecto DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO es viable para la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL.

12. CONCLUSIONES

- Se contribuyó con la misión del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander de construir, aplicar y divulgar conocimiento fortaleciendo las relaciones Industria-Universidad al diseñar e implementar el plan de mantenimiento preventivo en la empresa PANELES ESTRUCTURALES S.A.S. – FORMADCOL.
- Se llevó a cabo una auditoria para la determinación del estado actual de la empresa en cuanto a labores y gestión de mantenimiento se refiere, en la cual se detectó que la empresa presenta las mayores deficiencias en los aspectos de mantenimiento actual y el manejo de costos. Con base en los hallazgos, se realizaron unas propuestas con el fin de mejorar las debilidades encontradas.
- Se propuso la estructuración de un departamento de mantenimiento con la creación de 3 cargos (jefe de mantenimiento, técnico electricista y técnico electromecánico) en los cuales se apoyarán todas las acciones de mantenimiento de equipos e instalaciones, para lograr la independencia de las labores de mantenimiento del departamento de producción.
- Se realizó una modificación a la codificación implementada por la empresa de los 72 equipos pertenecientes al área de producción, de tal forma que cumpliera lo establecido en la norma ISO 14224. Se añadieron 4 caracteres más que corresponden al área y zona que ayudan a la identificación del activo dentro de la planta.
- Se elaboró un análisis de criticidad aplicando el análisis de Pareto donde se obtuvieron 6 equipos críticos que más afectaban a la producción de acuerdo al

número de fallas. Así mismo el proceso de análisis jerárquico AHP permitió dar una priorización a los criterios de evaluación para determinar los subsistemas críticos de cada activo.

- Se desarrollaron las rutinas de mantenimiento preventivo a los activos críticos determinados por Pareto, basados en las recomendaciones del fabricante presentes en los manuales y catálogos de los equipos junto con la experiencia y asesoría de los técnicos que trabajan día a día junto a estas máquinas.
- Se seleccionó el sistema de información mediante la aplicación de la matriz QFD comparando los requerimientos de la empresa con los criterios de selección del CMMS. Este estudio arrojó que el software que más se adapta a las necesidades de la empresa y el proyecto de grado es SAIM.
- Con base en las rutinas de mantenimiento y la información recopilada se logró alimentar los módulos de hojas de vida (HVA) y órdenes de trabajo (OT) del sistema de información SAIM. Así mismo se estableció la programación dando como fecha de inicio el 1 de Enero de 2018.
- Se realizó una capacitación al personal encargado de la programación del mantenimiento con el fin de dar a conocer la herramienta SAIM para desarrollar habilidad en el uso adecuado y así garantizar el funcionamiento y puesta en marcha de la misma.
- De acuerdo al análisis de costos se concluye que el proyecto es viable debido a que la inversión se recupera a los 4 meses y genera una ganancia de \$11.635.165. Así mismo se evidencia que la TIR correspondiente a un 17% es mayor a las tasa de oportunidad del 10%.

BIBLIOGRAFÍA

APPING S.A.S. Manual de usuario SAIM® v3.2.0

BARRETO, Yeison y VILLAMIZAR, Samuel. Plan de mantenimiento para la maquinaria amarilla de la alcaldía de Monterrey Casanare. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2017, 148 p.

BORRAS PINILLA, Carlos. Ingeniería de mantenimiento. Material docente. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2015, p. 27-66

BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. Bogotá: SENA, 1991. 90p.

Descripción general de funciones jefe de mantenimiento y reparaciones. Universidad de los Andes. [En línea]. Disponible en: http://www.ula.ve/personal/cargos_unicos/jefe_manteni_y_reparaciones.htm

Descripción general de funciones técnico electricista. Universidad de los Andes. [En línea]. Disponible en: http://www.ula.ve/personal/cargos_unicos/tecnico_electricista.htm

Descripción general de funciones técnico electromecánico. Universidad de los Andes [En línea]. Disponible en: http://www.ula.ve/personal/cargos_unicos/tecnico_electricista.htm

ESPINOSA, Fernando. Auditoría para la efectividad del mantenimiento. Universidad de Talca

GARCÍA, Santiago. Auditorías de mantenimiento. Renovetec, 2009

PALOMINO, Liseth. Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo a las áreas de derivados y UHT para la planta Bucaramanga de la empresa Freskaleche S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016, p. 161

PERTUZ COMAS, Alberto David. Generalidades de mantenimiento. Diapositivas de clase. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

RODRÍGUEZ, María Fernanda y TOLOZA, Yerson. Plan de mantenimiento preventivo post-venta para los productos distribuidos por la empresa COLLISION SCS haciendo uso de herramientas computacionales para el manejo de información. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2016, 126 p.

SIERRA, Alejandro. Implementación de gestión de mantenimiento & SAIM

TOSKANO, Gérard. El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Lima, 2005. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf