

Universidad Internacional del Ecuador

Escuela de Ingeniería Automotriz



**EVALUACIÓN DE LA FALLA DEL EJE MOTRIZ YZ91406
DE LA TRANSMISIÓN DEL TRACTOR AGRÍCOLA JOHN
DEERE MODELO 6603**

Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz

Luis Gavino Yantalema Rumipamba

Director: Ing. Fredy Morquecho Andrade. MsC

Guayaquil, Octubre 2019

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

Ing. Fredy Morquecho. MsC

CERTIFICA

Que el trabajo de **“Evaluación de la falla del eje motriz YZ91406 de la transmisión del tractor agrícola John Deere modelo 6603”** realizado por el estudiante: LUIS GAVINO YANTALEMA RUMIPAMBA ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estatutarias establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes. Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendo su publicación. El mencionado trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autoriza el señor: LUIS GAVINO YANTALEMA RUMIPAMBA que lo entregue a biblioteca de la facultad, en calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, Octubre del 2019

Ing. Fredy Morquecho. MsC

Docente de cátedra

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Yo, LUIS GAVINO YANTALEMA RUMIPAMBA, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

LUIS GAVINO YANTALEMA RUMIPAMBA

C.I: 0928282979

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicado a mis padres sin ellos esto no fuera posible, fueron mis guías cada día y sus consejos fueron fundamentales para avanzar con pasos firmes y concluir mi carrera profesional. También agradezco a mis maestros que gracias a sus enseñanzas, paciencia y constancia me llenaron de grandes conocimientos. Dedico esta tesis a mi tutor quien me apoyo para llegar a culminar mi carrera profesional, sus directrices fueron esenciales para ello.

AGRADECIMIENTO

Mi primer agradecimiento es hacia Dios creador de los cielos y la tierra quien me dio las fuerzas e inteligencia necesaria para cada día luchar de manera perseverante, luego agradezco a toda mi familia quienes también día a día me alentaban para llegar a la meta, en especial a mis padres quienes me ayudaron y me permitieron culminar mi carrera de muy buena forma, también agradezco a mis profesores quienes me guiaron e impartieron sus conocimientos en mi período como estudiante, agradezco a todas las personas que de alguna forma estuvieron apoyándome diariamente para seguir adelante y evitaron que decayera en los distintos obstáculos que me ha dado la vida. Muchas gracias a todos, esto es por cada uno de ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
Resumen.....	1
Abstract.....	3
Capítulo I	5
Antecedentes	5
1.1 Definición del problema.....	5
1.2 Objetivos de la investigación	5
1.2.1 Objetivo general.	5
1.2.2 Objetivos específicos.	6
1.3 Alcance.....	6
1.4 Justificación e importancia de la investigación.....	6
1.4.1 Justificación teórica.....	6
1.4.2 Justificación metodológica.....	7
1.4.3 Justificación práctica.....	7
1.5 Marco metodológico	8
1.5.1 Método de investigación.....	8

1.6 Ubicación geográfica	8
1.7 Hipótesis.....	8
1.7.1 Variables de hipótesis.	9
Capítulo II.....	10
Marco conceptual de la investigación.....	10
2.1 Historia de John Deere	10
2.2 La empresa John Deere	11
2.3 Productos.....	13
2.3.1 Maquinarias agrícolas.	14
2.3.2 Maquinarias de jardín.....	14
2.3.3 Maquinarias para campos de Golf.....	15
2.3.4 Maquinarias de construcción.....	16
2.3.5 Maquinarias forestales.	16
2.4 La marca John Deere en el Ecuador.....	17
2.4.1 Motrac S.A. - Grupo Indusur.	17
2.4.2 Productos.....	19
2.4.3 Servicio técnico.....	20
2.5 Importancia de la agricultura en el Ecuador	21
2.6 ¿Qué es un tractor?.....	21
2.7 Tipos de tractores	22
2.8 Partes del tractor.....	23
2.9 Ventajas de los tractores agrícolas	26
2.10 Aplicaciones.....	27
2.11 Descripción y especificaciones de la maquinaria objeto de estudio	27
2.12 Especificaciones.....	28
2.13 Descripción general de la maquinaria	30
2.13.1 Mandos e Instrumentos.	30

2.13.2 Controles del habitáculo del operador.....	31
2.13.3 Controles de la consola derecha.....	32
2.13.4 Controles de la consola izquierda.....	33
2.13.5 Sistema de seguridad de arranque del motor.....	33
2.14 Funcionamiento del tren de transmisión de fuerza.....	34
2.15 Motor de combustión interna (MCI).....	35
2.16 Sistema de embrague.....	35
2.17 Caja de velocidad.....	37
2.17.1 Elementos de la caja de cambios manual.....	38
2.18 Análisis de funcionamiento del eje de entrada de la transmisión TSS.....	38
2.19 Transmisión TSS.....	42
2.19.1 Ejes de transmisión (TSS).....	44
2.20 Conjunto diferencial MFWD.....	46
2.21 Mandos finales.....	48
2.22 Ruedas.....	48
2.23 Los rodamientos.....	49
2.23.1 Tipos de rodamientos.....	50
2.23.2 Mantenimiento de rodamientos.....	51
2.23.2.1 Escuchar.....	52
2.23.2.2 Tocar.....	52
2.23.2.3 Observar.....	53
2.24 Valores orientativos de la vida útil de un rodamiento.....	54
2.25 Análisis tribológico de fallas de rodamientos.....	55
2.25.1 Desgaste.....	55
2.26 Causas de fallas en los Rodamientos.....	55
2.27 Montaje de rodamientos en ejes rotativos.....	57
2.28 Ejes.....	58

2.28.1 Clasificación de los ejes	58
2.28.2 Materiales de fabricación de los ejes.....	59
2.29 Análisis de fallas mediante ensayos en laboratorios	60
2.30 La calidad de un producto	60
2.31 UNE-EN ISO 9000:2005	60
2.32 UNE-EN ISO 9004:2009	61
2.33 Definición y objetivo de una política de calidad.....	61
2.34 Garantías para equipos nuevos de las líneas agrícolas John Deere.....	62
Capítulo III.....	63
Evaluación de las fallas que se originan en el eje de entrada de la Transmisión TSS	63
3.1 Recolección de la información.....	63
3.2 Universo, población y muestra.....	63
3.2.1 Encuesta	64
3.3 Tabulación.....	70
3.4 Antecedentes del problema	77
3.4.1 Reclamación común del operador o cliente	79
3.4.2 Síntomas que emite la maquinaria	79
3.4.3 Inspecciones técnicas realizadas por los problemas reportados.....	80
3.5 Análisis del ajuste entre eje y rodamiento.....	83
3.6 Determinación del diámetro idóneo del eje, a través del procedimiento recomendado por el fabricante del rodamiento.	84
3.7 Determinación del diámetro idóneo del eje, a través del procedimiento recomendado en la norma ISO 286	86
3.7.1 Definición de la calidad de la tolerancia.	86
3.7.2 Definición de la posición de la tolerancia.	87
3.8 Medición de diámetros del eje en la zona de ajuste con rodamientos.....	89

3.9	Análisis del ajuste de rodamientos en el eje.....	91
3.10	Estudio de las prestaciones mecánicas del eje de transmisión y de los efectos potenciales del modo de fallo “deslizamiento del eje sobre la pista del rodamiento”	92
3.10.1	Modelo de estudio.....	92
3.10.2	Discretización del dominio computacional.....	93
3.10.3	Propiedades del material y condiciones de frontera.....	94
3.11	Análisis de resultados del estudio estático - estructural:.....	95
3.11.1	Transmisión de potencia (funcionamiento normal)	95
3.11.2	Transmisión de potencia, con huelgo en el apoyo del rodamiento en la zona de estudio A.....	96
3.11.3	Análisis de los resultados.	97
3.12	Análisis modal del eje de transmisión.....	98
3.12.1	Análisis de resultados del análisis modal.....	100
3.13	Efectos del rozamiento entre eje y pista del rodamiento.....	102
3.13.1	Aporte de calor que genera el deslizamiento del eje sobre la pista del rodamiento.	102
Capítulo IV.....		106
Propuesta de soluciones para la falla del eje motriz YZ91406 de la Transmisión del tractor agrícola John Deere modelo 6603.....		106
4.1	Diseño de un buje de acople intermedio entre eje y rodamiento	106
4.1.1	Presión entre el cilindro intermedio y el eje.....	107
4.1.2	Presión entre el cilindro intermedio y el rodamiento.	108
4.1.3	Análisis de esfuerzos en el buje intermedio.....	109
4.1.4	Análisis de esfuerzos sobre el eje, luego de maquinar el ajuste con el buje intermedio.	112
4.1.4.1	Transmisión de potencia.	112
4.2	Relleno de la zona de acople entre el eje y rodamiento por fusión.....	113
Capítulo V.....		116

Conclusiones y Recomendaciones	116
5.1 Conclusiones	116
5.2 Recomendaciones.....	117
Bibliografía	118
Anexo I.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de empresa	8
Figura 2. El primer arado construido por John Deere	10
Figura 3. Tractor Waterloo Boy original y tractor Waterloo Boy fabricado por Deere.....	11
Figura 4. Situación de John Deere en el mundo.....	12
Figura 5. Principio utilizado para la creación de los productos John Deere	13
Figura 6. Maquinarias agrícolas	14
Figura 7. Maquinaria de jardín modelo D130 John Deere.....	14
Figura 8. Equipo cortador de Greens John Deere	15
Figura 9. Maquinaria forestales John Deere	16
Figura 10. Ubicación geográfica de las sucursales de la empresa Motrac S.A.....	17
Figura 11. Marcas de tractores importados 2012-2016.....	18
Figura 12. Servicio técnico	20
Figura 13. Exportación no petrolera.....	21
Figura 14. Agricultura moderna	22
Figura 15. Agricultura tradicional.....	22
Figura 16. Partes de un tractor agrícola	24
Figura 17. Soporte de pesas del tractor agrícola 6603	24
Figura 18. Bastidor – Chasis de un tractor	25
Figura 19. Mandos finales posteriores y delanteros.....	25
Figura 20. TDF y Barra de tiro.....	25
Figura 21. Sistema hidráulico principal	26
Figura 22. Tractor John Deere 6603	27
Figura 23. Rastra modelo 670 de 24 discos	28
Figura 24. Manual de operación de maquinarias agrícolas.....	30
Figura 25. Controles de la consola delantera	31
Figura 26. Pedales de controles del tractor 6603	31
Figura 27. Controles del lado derecho del tractor 6603	32
Figura 28. Controles del lado derecho del tractor 6603.....	33
Figura 29. Flujo de potencia de la maquinaria agrícola	34
Figura 30. Flujo de potencia de los tractores agrícolas.....	34
Figura 31. Motor de combustión interna del tractor modelo 6603	35

Figura 32. Sistema de embrague del tractor agrícola 6603	36
Figura 33. Conjunto de embrague de tracción y TDF.....	36
Figura 34. Caja de cabios del tractor agrícola.....	37
Figura 35. Eje de entrada de la transmisión YZ91406.....	39
Figura 36. Flujo de potencia desde el motor hacia la transmisión.....	39
Figura 37. Eje del PTO y transmisión YZ91406.....	40
Figura 38. Habitáculo interior de alojamiento del eje YZ91406	40
Figura 39. Piezas que trabajan junto al eje de la transmisión	41
Figura 40. Caja del sistema de transmisión y sistema de embrague	41
Figura 41. Palanca de controles de gamas	42
Figura 42. Palanca de controles de cambios	42
Figura 43. Combinación de velocidades rangos y cambios	43
Figura 44. Vista interna del grupo de transmisión	44
Figura 45. Conjunto de eje de primera etapa	44
Figura 46. Conjunto del eje de tercera etapa del grupo de gamas.....	45
Figura 47. Conjunto del eje de segunda etapa.....	45
Figura 48. Diferencial delantero y posterior	46
Figura 49. Partes del conjunto diferencial.....	47
Figura 50. Mandos finales posteriores y delanteros.....	48
Figura 51. Ruedas receptoras del flujo de potencia	48
Figura 52. El rodamiento y sus partes.....	49
Figura 53. Esfuerzos durante la rodadura	50
Figura 54. Generacion de inpectos sobre la presecia de un defecto.....	56
Figura 55. Causas de fallas en los rodamientos	57
Figura 56. Montaje de rodamiento en eje rotativo	57
Figura 57. Garantías de tractores agrícolas John Deere de fabricación Mexicanas.....	62
Figura 58. Resultados de la encuesta, pregunta 1 a clientes	70
Figura 59. Resultados de la encuesta, pregunta 2 a clientes	71
Figura 60. Resultados de la encuesta, pregunta 3 a clientes	71
Figura 61. Resultados de la encuesta, pregunta 4 a clientes	72
Figura 62. Resultados de la encuesta, pregunta 5 a clientes	73
Figura 63. Resultados de la encuesta, pregunta 1 a técnicos	73

Figura 64. Resultados de la encuesta, pregunta 2 a técnicos	74
Figura 65. Resultados de la encuesta, pregunta 3 a técnicos	75
Figura 66. Resultados de la encuesta, pregunta 4 a técnicos	75
Figura 67. Resultados de la encuesta, pregunta 5 a técnicos	76
Figura 68. Reclamos de clientes por fallas del eje YZ91406, 2018 – 2019.....	78
Figura 69. Falla de los rodamientos YZ90831, YZ91404, 2018-2019	79
Figura 70. Desarmado del tractor modelo 6603	80
Figura 71. Fuga de aceite hidráulico por falla de retenedores internos.....	80
Figura 72. Averías en los manguitos de accionamiento y grupo de embrague.....	81
Figura 73. Ovalamiento en el alojamiento del rodamiento YZ91404.....	81
Figura 74. Ovalamiento en el alojamiento del rodamiento YZ90831	82
Figura 75. Desgastes anormal en el eje YZ91406 de la transmisión TSS	82
Figura 76. Puntos de averías del eje YZ9406 de la transmisión TSS	83
Figura 77. Eje YZ91406.....	84
Figura 78. Recomendación del fabricante (Koyo) para estimar las tolerancias de los eje.	85
Figura 79. Recomendación del fabricante (Koyo), para la selección de la calidad y posición de la tolerancia del eje	86
Figura 80. Posiciones normalizadas de la tolerancia en ejes	87
Figura 81. Tolerancia (μm) recomendada por la norma ISO 286 en función del diámetro nominal del eje, y de la calidad de la tolerancia	88
Figura 82. Diferencias fundamentales recomendadas por la norma ISO 286:2010 en función del diámetro nominal del eje y la posición de la tolerancia.....	88
Figura 83. Proceso de calibración del micrómetro a través del patrón de medida a 20°C..	90
Figura 84. Mediciones efectuadas en el eje zonas de contacto con los rodamientos A	90
Figura 85. Mediciones efectuadas en el eje zonas de contacto con los rodamientos B	90
Figura 86. Modelo CAD tridimensional utilizado para la delimitación geométrica del dominio computacional	92
Figura 87. Discretización del dominio computacional (mallado), del modelo de estudio..	93
Figura 88. Contorno de deformación máxima del eje de transmisión.-Caso de carga: transmisión normal de potencia	96
Figura 89. Contorno de esfuerzos equivalentes (Von Misses) en el eje de transmisión.-Caso de carga: Transmisión normal de potencia	96

Figura 90. Contorno de deformación máxima del eje de transmisión.-Caso de carga: transmisión de potencia y huelgo en el apoyo del rodamiento en la zona de estudio A.....	97
Figura 91. Contorno de esfuerzos equivalentes (Von misses) en el eje de transmisión.-Caso de carga: transmisión de potencia y huelgo en el apoyo el rodamiento en la zona de estudio A.....	97
Figura 92. Primeros dos modos de vibración del eje, desplazamientos a 100x. Casos de carga: Transmisión máxima de la potencia del motor	99
Figura 93. Primeros dos modos de vibración del eje, desplazamientos a 100x	99
Figura 94. Diagrama de Campbell, se observan las velocidades críticas del eje, dentro del rango de velocidad del eje.....	101
Figura 95. Diagrama de Campbell, se observan las velocidades críticas del eje, dentro del rango de velocidad del eje, y las componentes armónicas de la velocidad sincrónica	101
Figura 96. Ubicación del centro de masa del eje	103
Figura 97. Medición de la masa del eje a través de la balanza electrónica	103
Figura 98. Contorno de distribución de temperatura en el eje (equilibrio térmico)	104
Figura 99. Contorno de distribución del flujo de calor a través del eje (equilibrio térmico)	105
Figura 100. Dominio computacional estructurado para la simulación de esfuerzos en el cilindro de acople intermedio.....	109
Figura 101. Contorno de esfuerzos equivalentes (VonMisses) que soportará el cilindro intermedio durante la fase de montaje sobre el eje	110
Figura 102. Contorno de esfuerzos equivalentes (VonMisses) que soportará el cilindro intermedio una vez montado sobre el eje, y montado sobre él, el rodamiento	111
Figura 103. Diagrama de transformación isotérmica del acero AISI 4130	112
Figura 104. Contorno de deformación máxima del eje, cuando el diámetro de la zona de estudio “A” se reduce de 45 a 42 mm	113
Figura 105. Contorno de Esfuerzos equivalentes (Von Misses) en el eje de transmisión, cuando el diámetro de la zona de estudio “A” se reduce de 45 a 42 mm	113
Figura 106. Contorno de distribución de temperatura luego de 30s de aportar calor en un punto focal hasta alcanzar la temperatura de fusión del eje.....	114
Figura 107. Fotografía durante una de las pruebas de dureza realizada sobre el eje de transmisión	122

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos y maquinarias utilizados en la agricultura, jardín y golf.....	15
Tabla 2. Equipos y maquinarias utilizados en la construcción y bosques forestales	16
Tabla 3. Equipos de agricultura	19
Tabla 4. Equipos de golf	19
Tabla 5. Equipos de Jardín.....	20
Tabla 6. Servicios de repuestos y mano de obra	20
Tabla 7. Especificaciones del motor	28
Tabla 8. Especificaciones de la transmisión TSS.....	28
Tabla 9. Especificaciones del sistema hidráulico.....	29
Tabla 10. Especificaciones de las capacidades de llenado.....	29
Tabla 11. Especificaciones generales de las dimensiones y peso	29
Tabla 12. Especificaciones del sistema eléctrico	30
Tabla 13. Velocidades de avance de la transmisión TSS	43
Tabla 14. Vida útil de los rodamientos en diferentes maquinarias	54
Tabla 15. Quejas de los clientes por fallas del eje YZ91406	78
Tabla 16. Quejas de clientes por fallas de los rodamientos YZ90831, YZ91404.....	79
Tabla 17. Tolerancias de ajustes recomendado por el fabricante de rodamientos koyo.	85
Tabla 18. Diámetros ideales zonas A y B según el fabricante de rodamientos koyo.....	85
Tabla 19. Tolerancias de ajustes recomendados por las normas ISO 286:2010	89
Tabla 20. Tolerancias de diámetros admisibles por las normas ISO 286:2010	89
Tabla 21. Dimensiones del eje en las zonas de acople con los rodamientos	91
Tabla 22. Resumen de resultados.....	91
Tabla 23. Resumen del análisis de calidad de los elementos del dominio computacional discretizado	94
Tabla 24. Propiedades del acero AISI 4340.....	94
Tabla 25. Condiciones de frontera para cada caso de carga contemplado en el estudio de prestaciones mecánicas del eje de transmisión	95
Tabla 26. Estimación de dimensiones del eje y del agujero del cilindro interpuesto	107
Tabla 27. Resultados obtenidos de la dureza de la superficie del eje	122

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para cálculo de muestra.....	63
Ecuación 2. Calculo de aporte de calor que se conduce al eje debido a la fricción	102
Ecuación 3. Calculo para determinar la presión por la superficie de contacto	108
Ecuación 4. Calculo de presión entre el cilindro intermedio y el rodamiento	108

Resumen

El presente proyecto de grado, es una investigación que se lleva a cabo por los problemas constantes y repetitivos que se originan desde 2017 hasta el presente, en el sistema de tren de potencia de la transmisión de tractores agrícolas John Deere modelo 6603, que se distribuyen en Ecuador, los cuales generan inconsistencias en el funcionamiento normal de la maquinaria, causando pérdidas monetarias a un gran número de clientes y también provoca mal prestigio de la marca de maquinaria agrícola. Por esta razón, el tema propuesto es; Evaluación de la falla del eje motriz YZ91406 de la transmisión del modelo 6603 del tractor agrícola John Deere.

Recopilamos información a través del uso de herramientas estadísticas, como encuestas dirigidas a clientes y técnicos de maquinarias agrícolas, que nos permiten obtener mayor información de las averías constantes que se evidencian en las maquinarias.

El objetivo principal de la investigación es evaluar y determinar, acerca de las fallas que se originan de forma común en el eje de entrada YZ91406 del sistema de transmisión sincronizada de eje superior (TSS) de los tractores agrícolas. Utilizando una serie de herramientas técnicas como; inspecciones visuales directas, toma de medidas con herramientas de precisión, diseño y modelado de piezas mediante programas virtuales como Auto Cad, Ansys, pruebas virtuales y dinámicas, mediante lo cual permitirá el diagnóstico de forma eficaz de las fallas perennes que se originan en este sistema.

El desarrollo del proyecto, me permitió aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Automotriz, proveyendo propuestas de soluciones mediante el diagnóstico obtenido, con lo cual los directivos y representantes de la marca de las maquinarias agrícolas dentro del Ecuador, podrán tomar la mejor decisión para la solución de los problemas, con el afán de mantener la operatividad, mejorar la productividad, competitividad de las

maquinarias agrícolas, de esta forma cuidar el prestigio de la marca de las maquinarias agrícolas John Deere.

Terminado este informe con el respectivo análisis e interpretación de los resultados de la investigación realizada se ha llegado a una serie de conclusiones y recomendaciones encaminadas a la solución y mejoramiento de la empresa donde fue posible realizar este proyecto.

Palabras clave: Tractor agrícola, eje de transmisión TSS, evaluación de fallas mecánicas, inspección técnica, diagnóstico de averías mecánicas, programas de simulación.

Abstract

The present degree project, is an investigation that is carried out by the constant and repetitive problems that originate from 2017 to the present, in the power train system of the transmission of agricultural tractors John Deere model 6603, which are distributed in Ecuador, which generate inconsistencies in the normal operation of the machinery, causing monetary losses to a large number of customers and also causes bad prestige of the agricultural machinery brand. For this reason, the proposed theme is; Evaluation of the YZ91406 drive axle failure of the 6603 model of the John Deere farm tractor.

We collect information through the use of statistical tools, such as customer surveys and agricultural machinery technicians, which allow us to obtain more information on the constant breakdowns that are evident in the machinery.

The main objective of the investigation is to evaluate and determine, about the faults that originate in a common way in the input shaft YZ91406 of the synchronized upper shaft transmission system (TSS) of agricultural tractors. Using a series of technical tools such as; direct visual inspections, taking measurements with precision tools, design and modeling of parts through virtual programs such as Auto Cad, Ansys, virtual and dynamic tests, which will allow the efficient diagnosis of perennial failures that originate in this system.

The development of the project allowed me to apply the knowledge acquired in the Automotive Engineering career, providing proposals for solutions through the diagnosis obtained, with which the managers and representatives of the brand of agricultural machinery within Ecuador, can make the best decision for the solution of the problems, with the desire to maintain the operability, improve the productivity, competitiveness of the agricultural machinery, in such a way to take care of the prestige of the brand of the agricultural machinery John Deere.

After completing this report with the respective analysis and interpretation of the results of the research carried out, a series of conclusions and recommendations have been reached aimed at the solution and improvement of the company where it was possible to carry out this project.

Keywords: Agricultural tractor, TSS transmission shaft, evaluation of mechanical failures, technical inspection, diagnosis of mechanical failures, simulation programs.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Definición del problema

El presente proyecto tiene como finalidad realizar un estudio de investigación técnica acerca de las fallas mecánicas que se originan en el eje de entrada del sistema de transmisión de fuerza de los tractores agrícolas de la marca John Deere, de esta forma determinar con exactitud los problema que ocurren en el eje, con el objetivo principal de resolver y mantener la operatividad de las maquinarias, dando paso al tema de “Evaluación de la falla del eje motriz YZ91406 de la transmisión del tractor agrícola John Deere 6603”.

Este estudio está enfocado principalmente en determinar los problemas mecánicos que ocurren en el eje motriz YZ91406 de transmisión de potencia desde el motor hacia el sistema de transmisión TSS (Transmisión de eje superior), mediante lo cual se podrán evitar la inoperatividad de las maquinarias con el afán de mejorar la productividad y competitividad para el crecimiento económico de forma sostenible y sólida en el campo de la agricultura dentro del Ecuador.

Este proyecto de investigación se basa en los objetivos del; Plan de Desarrollo 2017-2021 toda una vida, Eje 2: Economía al Servicio de la Sociedad. Objetivo 5: Impulsar la Productividad y Competitividad para El Crecimiento Económico Sostenible de Manera Retributiva y Solidaria.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general.

Evaluar las averías prematuras que se originan en el eje de entrada YZ91406 de la transmisión TSS de los tractores agrícolas John Deere modelo 6603, mediante estudios técnicos y programas de simulación.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Analizar el funcionamiento del sistema de tren de fuerza del tractor 6603.
- Investigar la población de los tractores que han presentado daños en el eje de entrada de la transmisión.
- Realizar pruebas de evaluación del eje de entrada de la transmisión TSS.
- Demostrar la solución técnica ante la avería presentada por el eje interno de la transmisión del tractor agrícola.

1.3 Alcance

El alcance de este proyecto de investigación técnica presentada acerca de los defectos que se originan en el eje motriz YZ91406 de la transmisión, es determinar y demostrar con bases técnicas y programas virtuales los problemas mecánicos que se producen en los tractores agrícolas modelo 6603 de la marca John Deere.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Justificación teórica.

La inoperatividad de la maquinaria representa una pérdida considerable de dinero y productividad diaria para los dueños de las maquinarias agrícolas. Actualmente en el Ecuador el alquiler de la maquinaria en el campo de la agricultura se lo realiza como una fuente de ingreso más, el rubro de alquiler de las maquinarias varían según la potencia de la maquinaria, en la costa ecuatoriana el alquiler de la maquinaria modelo 6603 varían entre 30 a 40 dólares la hora. Debido a la pérdida de dinero y productividad, la resistencia de los componentes internos de la maquinaria debe ser de buena calidad para no generar fallas de forma prolongadas, mediante el estudio presentado de la evaluación de la falla se tratará de solucionar los problemas de forma fiable y sostenible.

Este trabajo se realiza con el propósito de proveer soluciones a los problemas que se originan desde el año 2017 en el sistema del tren de fuerza de la transmisión principalmente en el eje de entrada YZ91406 de los tractores agrícolas de la marca John Deere modelo 6603 que se distribuyen en el mercado Ecuatoriano. La marca John Deere lidera dentro de la clasificación mundial de maquinarias en el campo de aplicación de la agricultura, por lo cual es considerable proveer la presente investigación y de esta manera se obtendrán beneficios mutuos tanto como de la marca de la maquinaria como la del cliente y de esta forma continuara la marca como tal liderando dentro de Latinoamérica y el mundo.

1.4.2 Justificación metodológica.

Para la elaboración y aplicación del estudio previamente mencionado, se van a realizar investigaciones siguiendo un proceso lógico y ordenado realizando indagaciones y buscando trabajos similares mediante métodos técnicos y científicos, acerca de los problemas que se generan en los ejes de entrada de la transmisión de los tractores agrícolas y de esta forma resolver los inconvenientes evidentes que se originan en el sistema del tren de fuerza motriz de la maquinaria agrícola.

1.4.3 Justificación práctica.

Mediante la elaboración del estudio técnico se va a lograr conocer la utilidad de la resolución del problema presente, proveyendo beneficios mutuos de ambas partes tanto a la marca de la maquinaria presente como la del cliente comprador del producto, ya que de esta forma se elimina el tiempo de parada de la maquinaria y al mismo tiempo se obtiene una mejor productividad e impulso al desarrollo del campo de la agricultura del suelo Ecuatoriano.

1.5 Marco metodológico

1.5.1 Método de investigación.

Se aplicará un método inductivo-deductivo, método de observación y método histórico, esto se debe a que la investigación presentada necesita valores de fundamentos teóricos, principios, leyes y análisis para determinar las fallas que se presentan en el eje de entrada de la transmisión y así poder demostrar y elaborar la propuesta de solución de forma aceptable y comprobada para su validez acorde a los fines pertinentes.

1.6 Ubicación geográfica

El presente trabajo técnico es desarrollado en conjunto a la empresa del grupo Indusur-Área de maquinarias agrícolas, figura 1 y la universidad UIDE.



Figura 1. Ubicación geográfica de empresa (Google, 2005)

1.7 Hipótesis

Es factible la propuesta de “Evaluación de la falla del eje motriz YZ91406 de la transmisión del tractor agrícola John Deere modelo 6603, para determinar y obtener la solución de los problemas repetitivos que se presentan en el sistema de tren de fuerza de la maquinaria”.

1.7.1 Variables de hipótesis.

- **Variable independiente:**

Determinación de los problemas mecánicos prematuros que ocurren en el eje de entrada de la transmisión TSS.

- **Variable dependiente:**

Falla del eje motriz YZ91406.

Capítulo II

Marco conceptual de la investigación

2.1 Historia de John Deere

La historia de una de las marcas de maquinarias agrícolas más importantes en el mundo inicia el 7 de febrero de 1804 cuando nace John Deere. Herrero de profesión desde muy joven, Deere construyó un nuevo tipo de arado de acero ideal para los suelos duros y complicados de Illinois (Estados Unidos), el arado mejorado cumplió y resolvió los problemas de preparación de los suelos de los agricultores de la zona del medio oeste. La estupenda idea de la creación del arado de acero como se observa en la figura 2, fue desarrollada en la sastrería de su padre, se dedicaba al pulido y afilado de las agujas de acero pasándolo por la arena y al ver luego la facilidad con la que traspasaba el cuero para el tejido, ideó el arado de acero de una única pieza en 1837 utilizando el mismo principio. (González, 2019, pág. 2)



Figura 2. El primer arado construido por John Deere (González, 2019)

En 1843 se asoció con Leonardo Andrus y seguidamente se mudaron a Illinois, el negocio de los arados de la más alta calidad fue muy exitoso vendiendo más de 10.000 hasta 1855. En 1868 se decretó y creó la corporación Deere & Company. Seguidamente la corporación amplió sus procesos de producción creando múltiples productos e implementos agrícolas

como; sembradoras, arados, triciclos, desde 1875 hasta 1883 crearon 7.824 productos, los cuales luego fueron los más vendidos dentro del mismo año de 1883. (González , 2019, pág. 2)

Los años de 1911 y 1918 fue una de las fechas más importantes de la industria de Deere & Company, es estos años se realizaron la compra de 2 empresas muy importantes:

La empresa canadiense Dain Manufacturing Company, dedicada a la fabricación de agavilladoras y otros aperos agrícolas y la empresa norteamericana Waterloo Gasoline Engine Company, fundada por John Froehlich, esta empresa creó el primer tractor con motor de gasolina, el Waterloo Boy, de ruedas metálica.

Con la adquisición de las dos empresas más importantes Deere entró así en una nueva dimensión de la empresa, vendiendo más de 5.600 tractores dentro del año de 1919 llamados Waterloo Boy como se observa en la figura 3, siendo uno de estos tractores sobre el que se realizó la primera prueba estándar de rendimiento establecida en USA para regular la calidad tecnológica de estas máquinas. (González , 2019, pág. 4)



Figura 3. Tractor Waterloo Boy original y tractor Waterloo Boy fabricado por Deere (González , 2019)

2.2 La empresa John Deere

Siendo más conocida por su marca comercial John Deere, “Deere & Company” es una compañía dedicada principalmente a la fabricación de maquinaria agrícola aunque también

tiene mercado en la división de jardinería y construcción. Es considerada como la empresa líder en el sector agrícola y una de las principales en maquinaria de construcción y explotaciones forestales. Por otro lado, la compañía ha ampliado sus fronteras con equipos adaptados a necesidades militares, así como la fabricación de motores y transmisiones. En la actualidad John Deere cuenta con instalaciones y fabricas repartidas en más de 42 países como se muestra en la figura 4, dando empleo directo a más de 50.000 personas. (Damián , 2014, pág. 21)

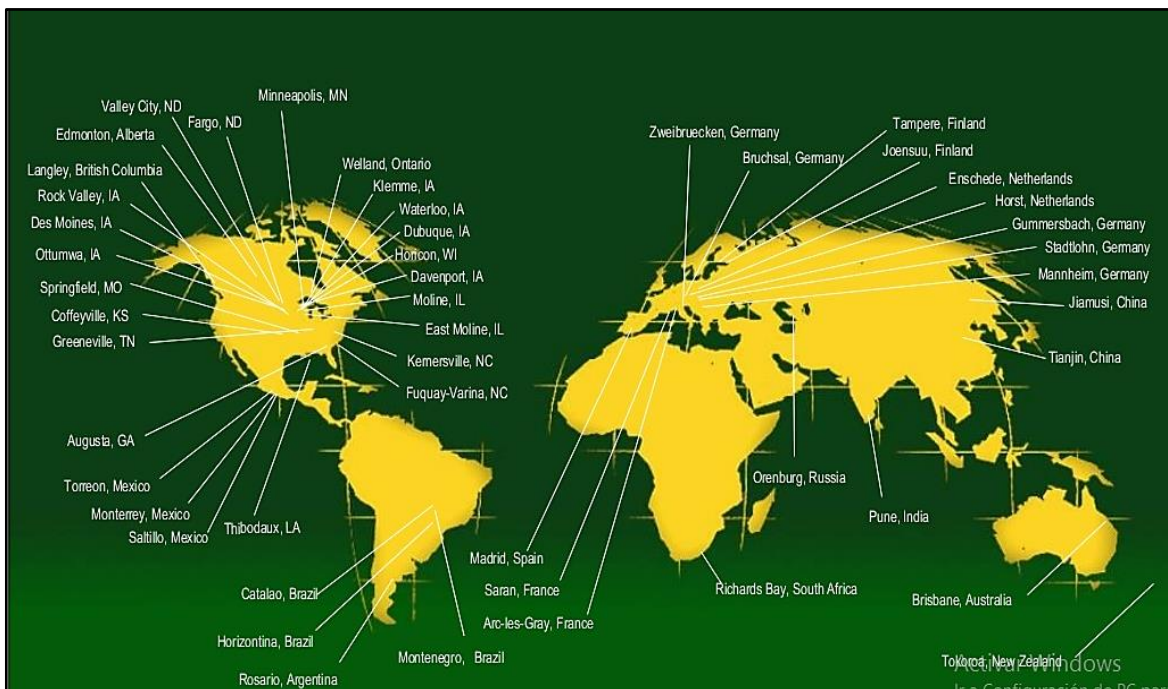


Figura 4. Situación de John Deere en el mundo (Ningsang, 2013)

- **Misión**

“Ofrecer a todos nuestros clientes finales maquinarias y servicios que cumplan plenamente sus expectativas para el mejoramiento de la productividad en el manejo del suelo y sus productos” (Deere & Company, 2019, pág. 1)

- **Visión**

“Ser la empresa más importante en el mundo en las creaciones de maquinarias y productos enfocadas a la agricultura, construcción, grupos forestales y motores de forma sostenible en la historia” (Deere & Company, 2019, pág. 1)

- **Valores**

“Nuestros valores para éxito continuo son la Integridad, Calidad, Compromiso e Innovación” (Deere & Company, 2019, pág. 1)

2.3 Productos

Los productos John Deere son creados bajo el principal principio utilizado por el fundador de la empresa “Deere & Company”, la frase célebre del principio utilizado se observa en la figura 5, el cual quedo grabado en la historia.



Figura 5. Principio utilizado para la creación de los productos John Deere (González , 2019)

Los productos y servicios que ofrecen se encuentran distribuidos en distintas áreas tales como; la agricultura, construcción y equipos forestales, los cuales son mencionados a continuación:

2.3.1 Maquinarias agrícolas.

Son un conjunto de máquinas y equipos figura 6, que utilizan los agricultores en sus labores diarias para la preparación del suelo siembra y cosecha.



Figura 6. Maquinarias agrícolas (Nichols, 2017)

2.3.2 Maquinarias de jardín.

Son equipos utilizados para realizar mantenimientos de jardines de pequeñas y grandes extensiones, su función principal es cortar hiervas y malezas como se muestra en la figura 7, dejando los jardines con una magnífica visión estética.



Figura 7. Maquinaria de jardín modelo D130 John Deere (Deere & Company, 2019)

2.3.3 Maquinarias para campos de Golf.

Son equipos utilizados para realizar mantenimientos de campos y canchas de golf, como se observa en la figura 8, el objetivo principal y el mayor desafío es lograr mantener en condiciones óptimas los campos de golf.



Figura 8. Equipo cortador de Greens John Deere (Deere & Company, 2019)

En la siguiente tabla se muestra los distintos tipos de maquinarias utilizados en la agricultura, jardín y golf.

Tabla 1
Equipos y maquinarias utilizados en la agricultura, jardín y golf

Agricultura	Jardín	Golf
Cosechadoras	Tractores de Jardín	Cortadoras para Greens
Tractores	Cortadoras de Césped	Equipos para Fairways
Cargadores Frontales	Tractores Utilitarios	Equipos de roughs, tees y antegreens
Equipos de Forraje	Vehículos Utilitarios	Rastrillo de Bunkers
Labranza		Equipos Especiales
Sembradoras		Vehículos Utilitarios Gator
Desmalezadoras		ProGator 2030 ^a
Vehículos Utilitarios		
Pulverizadoras		
GreenSystem		
Tecnología AMS (Agricultura de precisión)		

2.3.4 Maquinarias de construcción.

Son un conjunto de equipos y maquinarias que permiten realizar diferentes trabajos en el campo y en los diferentes tipos de suelos, el área de aplicación es muy extenso, son utilizados en la demolición, excavación, escarificación, compactación, movimiento de tierras, etc.

2.3.5 Maquinarias forestales.

Estas maquinarias son utilizadas para la preparación de suelos que cuentan con grandes extensiones de bosques, en la figura 9 se muestran algunos ejemplos de maquinarias forestales.



Figura 9. Maquinaria forestales John Deere (Garzon W, 2016)

En la tabla número 2 se muestran los distintos tipos de maquinarias de construcción y equipos forestales.

Tabla 2
Equipos y maquinarias utilizados en la construcción y bosques forestales

Construcción	Forestales
Camiones Articulados	Arrastradores
Cargadores de Ruedas	Cargador Estacionario
Excavadoras	Cosechadoras con Cadenas
Mini cargadores	Cosechadoras con Ruedas
Mini cargador de Orugas	Máquinas Forestales Giratorias
Motoniveladoras	Taladores Apiladores con Cadenas
Retroexcavadoras	Taladores Apiladores con Ruedas
Tractores Topadores	Transportadores de Troncos
Soluciones Tecnológicas	Soluciones Tecnológicas
Accesorios Worksite Pro	Cabezales y Accesorios Forestales

2.4 La marca John Deere en el Ecuador

2.4.1 Motrac S.A. - Grupo Indusur.

Tiene su origen como Motcum, empresa dirigida por el Ing. Thomas Wiener L. desde 1968. En 1972 tomó la representación de la marca John Deere. Los primeros tractores vendidos eran conocidos en el campo como los tractorcitos Motcum. (Motrac, 2019)

En el año de 1973 nace Indusur S.A., Industrial del Sur, siendo distribuidor de John Deere Agrícola para la zona del Litoral Ecuatoriano, además de otras marcas reconocidas a nivel mundial. Luego de muchos años de éxitos obtenidos por Indusur S.A. con John Deere, en el año 2012, el fabricante decide otorgarle la distribución nacional de la marca. Ahí es donde nace Motrac S.A. compañía fundada específicamente para cubrir todo el territorio ecuatoriano. (Motrac, 2019)

Hoy en día esta empresa cuenta con diversas sucursales como se observa en la figura 10; Guayaquil, Quito, Daule, Babahoyo, El Triunfo, Santo Domingo y Riobamba, de esta forma mantienen el liderazgo a nivel nacional en importación, ventas de repuestos y maquinarias dentro del Ecuador, como se muestra en la figura 11.



Figura 10. Ubicación geográfica de las sucursales de la empresa Motrac S.A (Motrac, 2019)

Marca	2012		2013		2014		2015		2016	
	Ind.	% Ind.	Ind.	% Ind.	Ind.	% Ind.	Ind.	% Ind.	Ind.	% Ind.
JOHN DEERE	299	39,1%	232	33,5%	197	34,7%	165	29,4%	95	41,7%
NEW HOLLAND	193	25,3%	147	21,2%	119	21,0%	132	23,5%	64	28,1%
MASSEY FERGUSON	160	20,9%	222	32,0%	170	29,9%	158	27,8%	35	15,4%
CASE	81	10,6%	65	9,4%	75	13,2%	62	11,1%	20	8,8%
VALTRA	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	20	3,6%	10	4,5%
CLAAS	0	0,0%	2	0,3%	2	0,4%	0	0,0%	0	0,0%
LAMBORGHINI	5	0,7%	0	0,0%	0	0,0%	10	1,8%	0	0,0%
LANDINI	10	1,3%	1	0,1%	0	0,0%	4	0,7%	0	0,0%
MAHINDRA	4	0,5%	24	3,5%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
MCCORMICK	6	0,8%	0	0,0%	1	0,2%	0	0,0%	0	0,0%
SAME	6	0,8%	0	0,0%	4	0,7%	12	2,1%	0	0,0%
Total		100%		100%		100%		100%		100%

Figura 11. Marcas de tractores importados 2012-2016 (Peralta, 2018)

- **Misión**

Brindar soluciones al productor ecuatoriano, proporcionando productos y servicios de la más alta tecnología y calidad, con foco en el aumento del rendimiento y la continuidad operacional. Lo hacemos con un equipo de trabajo eficiente y comprometido para lograr beneficios a nuestros clientes y a nuestra gente. (Motrac, 2019)

- **Visión**

Mantener el liderazgo de John Deere en el mercado ecuatoriano, procurando una mejora continua, siendo nuestras fortalezas la formación de un equipo de trabajo altamente capacitado y alineado a los valores de la empresa y a la calidad de los productos y servicios que ofrecemos. (Motrac, 2019)

- **Valores**

Integridad: Decir la verdad, cumplir con lo prometido y tratar a los demás con justicia y respeto.

Calidad: Entregar el valor que los clientes, empleados, accionistas y otros socios comerciales esperan, cada vez que interactuemos con ellos.

Innovación: Crear, buscar y desarrollar productos y servicios a la vanguardia internacional, con el objeto de transformar a nuestro país en potencia agroindustrial.

Compromiso: Satisfacer las expectativas de nuestros clientes a tiempo, generando relaciones de conveniencia mutua a largo plazo. (Motrac, 2019)

2.4.2 Productos.

Los productos John Deere están posicionadas como una de las mejores marcas en la producción y venta de maquinaria agrícola en el Ecuador. Entre sus múltiples productos podemos destacar los más vendidos son; tractores, cosechadoras, equipos de labranza.

En las tablas 3, 4 y 5 podemos observar los productos ofrecidos por la empresa Motrac S.A:

Tabla 3
Equipos de agricultura

Equipos agrícolas	Agricultura de precisión AMS
Tractores	Receptores y Monitores
Cosechadoras	Sistemas de Guiado
Cargadores Frontales	Soluciones para Siembra y Cosecha
Equipos de forraje	Gerenciamiento de información
Labranza	
Sembradoras	
Desmalezadoras	
Pulverizadoras	
GreenSystem	
Vehículos Utilitarios	

Tabla 4
Equipos de golf

Equipos de corte	Equipos especiales	Vehículos utilitarios
Cortadoras para greens	Aercore 800-Aireador de Greens	2030 ^a
Equipos para fairways	HD 200 - Pulverizador	4x2 TS
Equipos: roughs, tees, antegreens	Top Dresser TD100	6x4 TH
Rastrillo de Bunkers	Sistema Recolector TC125	4x2 TX
		TE Serie Tradicional
		RSX860i

Tabla 5
Equipos de Jardín

Equipos de corte	Tractores	Vehículos utilitarios
Tractores de Jardín Cortadoras de Césped	Tractores Utilitarios (hasta 100 hp)	Gators John Deere

2.4.3 Servicio técnico.

La empresa Motrac, ofrece también servicio técnico de alta calidad, utilizando repuestos originales John Deere y mano de obra calificada. Los servicios técnicos son realizados directamente en el campo como se observa en la figura 12, con el propósito principal de la mejorar experiencia de servicio a sus distinguidos clientes, de esta manera garantizan la operatividad diaria de las maquinarias e implementos.



Figura 12. Servicio técnico (Deere & Company, 2019)

En la tabla numero 6 podemos observar los servicios técnicos y productos ofrecidos.

Tabla 6
Servicios de repuestos y mano de obra

Repuestos y servicios
Repuestos agrícolas
Repuestos complementarios
Garantía y programas de mejora
Servicio técnico especializados, mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos

2.5 Importancia de la agricultura en el Ecuador

La agricultura es una de las principales actividades económicas en nuestro país como se representa en la figura 13, siendo la segunda fuente de ingresos después del petróleo, según el reporte de las Cifras Económicas del Ecuador a junio del 2017 emitido por el Banco Central del Ecuador, uno de los elementos principales para una excelente agricultura es la preparación de la tierra, una correcta mecanización de ella con tractores agrícolas va a ser posible que los resultados sean excelentes. (Peralta, 2018, pág. 18)

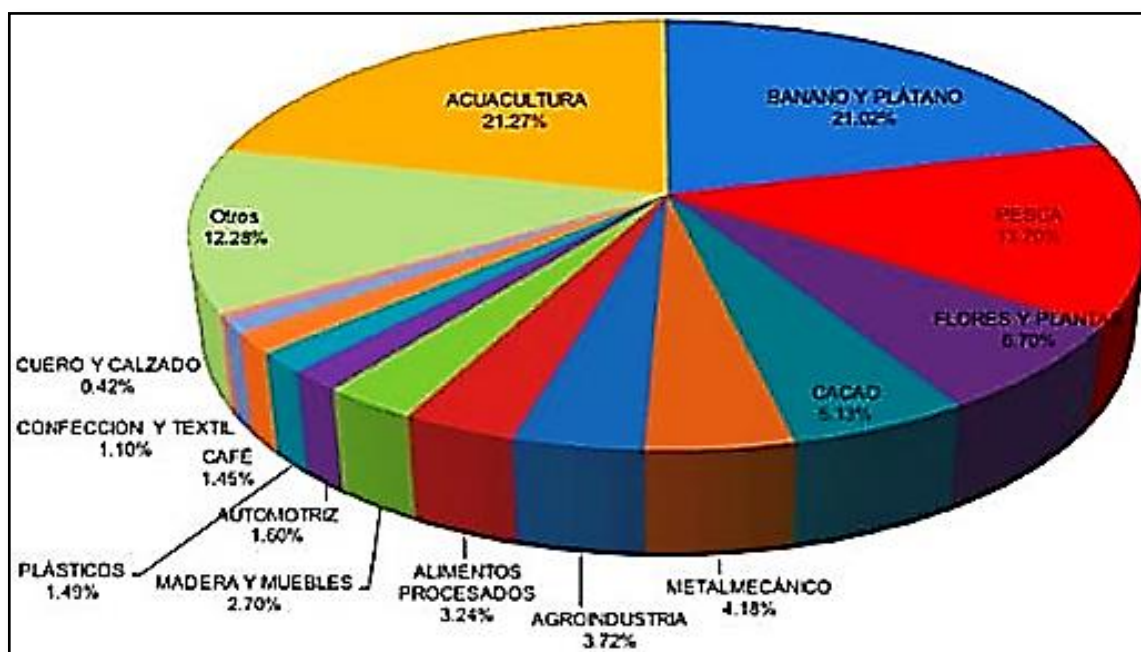


Figura 13. Exportación no petrolera (Peralta, 2018)

2.6 ¿Qué es un tractor?

Un tractor es un vehículo especial autopropulsado que se usa para arrastrar o empujar remolques, aperos u otra maquinaria pesadas como se observa en la figura 14. Existen distintos tractores destinados a diferentes tareas, como la agricultura, la construcción, la náutica, el movimiento de tierras o los mantenimientos de espacios verdes profesionales.



Figura 14. Agricultura moderna (Madera, 2016)

El uso de maquinarias agrícolas ofrece un sin número de ventajas y beneficios para quienes lo utilizan ya que facilitan las labores diarias que se realizan en el campo evitando el esfuerzo humano y animal como antiguamente lo realizaban como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Agricultura tradicional (Carles, 2016)

2.7 Tipos de tractores

Existen un sinnúmero de tractores agrícolas, los cuales se clasifican según la aplicación que van a realizar en el campo. Se mencionan a continuación las principales tipos:

- **Tipos de tractores según su tipo de tracción**

Tracción simple: Poseen tracción únicamente en las ruedas posteriores.

Tracción doble: Poseen tracción tanto en las ruedas posteriores como en las delanteras.

- **Tipos de tractores según su sistema motriz**

Tractores generales, articulados y de oruga.

- **Tipos de tractores según su tipo de potencia**

Categoría 1: Son tractores de menor tamaño y potencia diseñados especialmente para labores de jardinería o funciones básicas de agricultura, su potencia varía entre 15 a 40 caballos de fuerza.

Categoría 2: Son habitualmente los tractores más utilizados, están diseñados para trabajos de cargas medianas en el campo, su potencia es de 40 a 120 caballos de fuerza.

Categoría 3: Son tractores utilizados para labores específicas en la que demanda su potencia, su potencia se encuentran entre los 120 a 200 caballos de fuerza.

Categoría 4: Son tractores que no son utilizados habitualmente, su utilización es especialmente donde demanden cargas extremadamente pesadas como; la nivelación de grandes extensiones de suelo o subsoladores, su potencia general están comprendidas entre los 200 a 500 caballos de fuerza.

2.8 Partes del tractor

Los tractores agrícolas modernos en la actualidad están diseñados para realizar trabajos severos en el campo, sus partes y componentes están diseñadas de una forma compacta y resistente como se muestran en las figuras 16, 17, 18, 19, 20 y 21.



Figura 16. Partes de un tractor agrícola (Kozuch, 2008)



Figura 17. Soporte de pesas del tractor agrícola 6603 (Deere & Company, 2019)

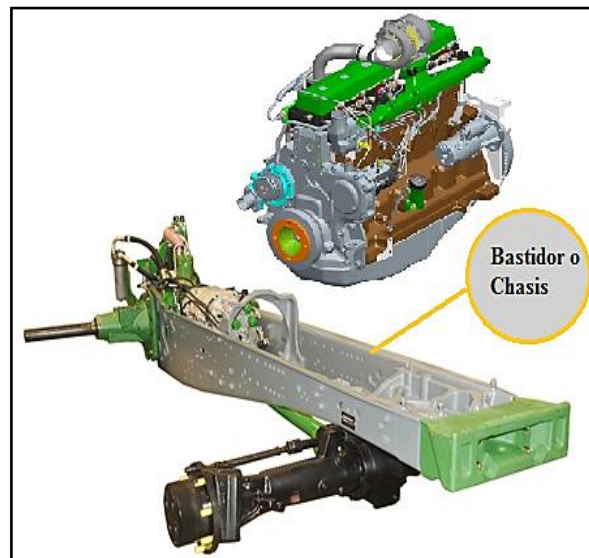


Figura 18. Bastidor – Chasis de un tractor (Motrac, 2019)

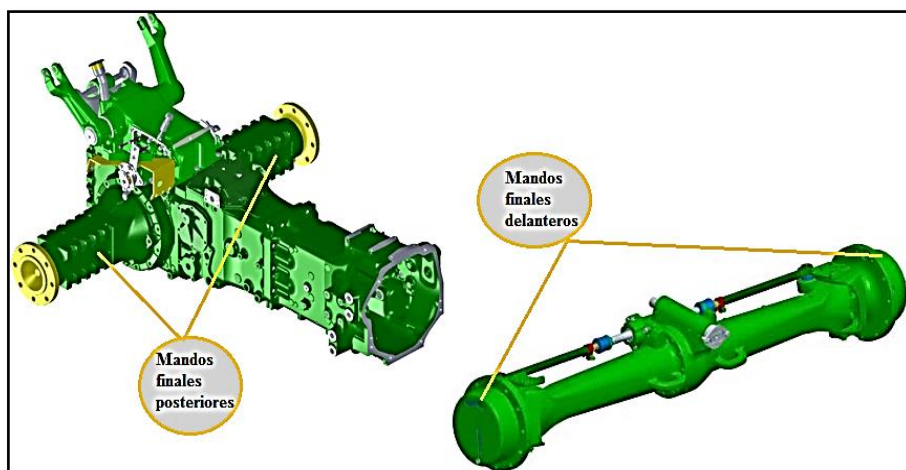


Figura 19. Mandos finales posteriores y delanteros (Motrac , 2015)

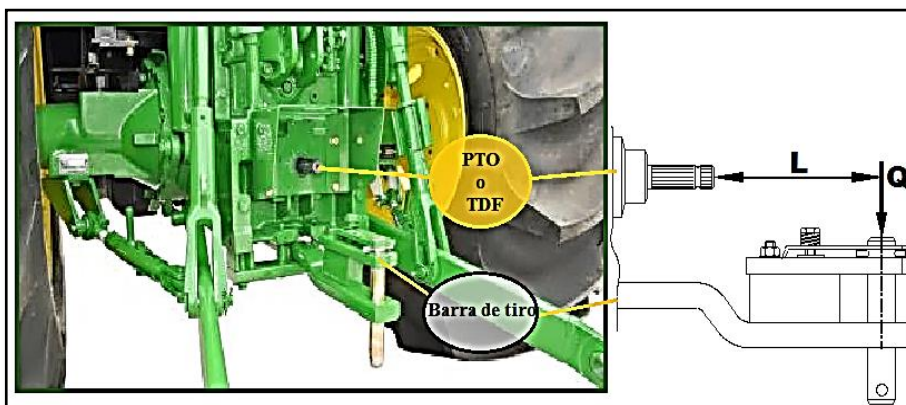


Figura 20. TDF y Barra de tiro (Motrac, 2019)

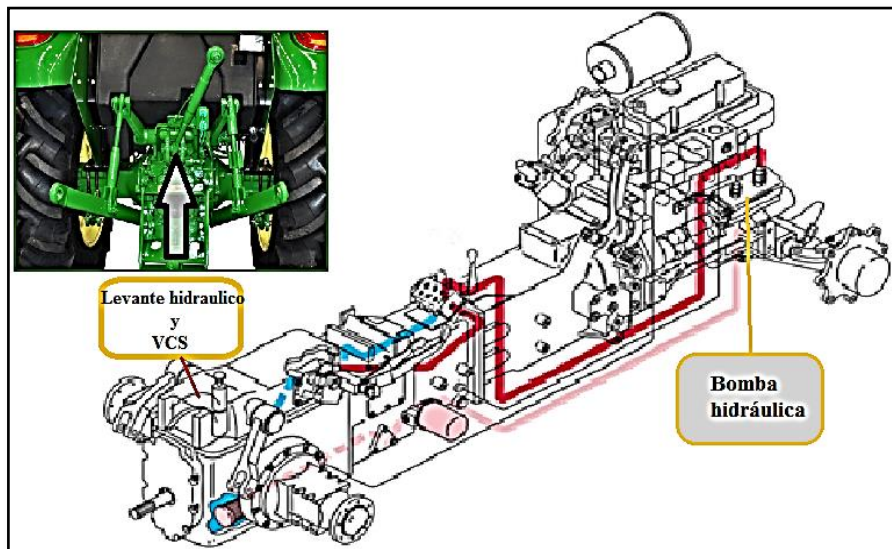


Figura 21. Sistema hidráulico principal (Motrac , 2015)

Partes principales:

- Motor de combustión interna
- Caja de cambios – Sistema de transmisión
- Diferenciales (delantero y posterior)
- Mandos finales
- Enganche hidráulico
- Sistema hidráulico (Bombas, válvulas hidráulicas)
- Toma de fuerza (PTO)
- Barra de tiro
- Redas
- Bastidor o Chasis
- Habitáculo de operación
- Soportes y pesas delantera y posteriores

2.9 Ventajas de los tractores agrícolas

- Incrementan la productividad debido a que se reduce tiempo en las labores

- Disminuye esfuerzo por parte de los trabajadores, ya que antes realizaban mucho de estas tareas de manera manual
- Los tractores están diseñados para hacer multitareas

2.10 Aplicaciones

Los tractores dentro de la agricultura se los pueden utilizar de distintas maneras según los implementos utilizados, las principales tareas que realizan en el campo son:

- Arar
- Transportar cargas
- Sembrar
- Fumigar

2.11 Descripción y especificaciones de la maquinaria objeto de estudio

El tractor agrícola de la marca John Deere modelo 6603 MFWD (tracción mecánica de las redas delanteras), figura 22, es el más utilizado en el Ecuador específicamente en zonas geográficas como la provincia de Los ríos y Guayas, ya que reúne las cualidades más importantes de una máquina por su versatilidad, potencia adecuada, precio justo, resistencia con bajo costo de mantenimiento y economía de combustible con baja emisión de contaminantes.



Figura 22. Tractor John Deere 6603 (Motrac, 2019)

Su principal aplicación es la preparación de suelo, utilizando rastras de 20 a 24 discos como se puede observar en la figura 23.



Figura 23. Rastra modelo 670 de 24 discos (Motrac , 2019)

2.12 Especificaciones

En las tablas 7, 8, 9, 10, 11, 12 se muestran las especificaciones generales del tractor John Deere modelo 6603.

Tabla 7
Especificaciones del motor

	Motor
Modelo de motor	PowerTech 6068TP053
Aspiración	Turbo alimentado
Cilindros	6
Compresión	17.0:1
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4
Regímenes de trabajo	850 - 2275 r/min
Potencia	120 Hp
Torque máximo	475 Nm
Potencia de salida TDF a 2100 Rpm	103 Hp - Conmutable: 540 y 1000 Rpm

Tabla 8
Especificaciones de la transmisión TSS

	Transmisión
Sistema de embrague	Accionamiento mecánico de doble disco
Tipo de transmisión	Sincronizador de eje superior (TSS)
Marchas de avance	9 (Combinaciones)
Marchas de retroceso	3 (Combinaciones)
Grupos de rangos	3 (A,B,C)

Tabla 9
Especificaciones del sistema hidráulico

Sistema hidráulico	
Tipo de Bomba	Centro abierto - Engranaje doble
Capacidad de bomba a 2100 r/min	65.2 l/min (17.2 Gpm)
Presión Máxima	3000 PSI
Dirección asistida	Sistema hidrostático
Frenos	Multidisco húmedos bañados en aceite
Capacidad de levante del enganche	2963.9 kg (6534.3 lb) - Categoría 2- 3
Válvula de control selectivo (VCS)	4 Tomas

Tabla 10
Especificaciones de las capacidades de llenado

Capacidades de vaciado y llenado	
Depósito de combustible	152 l (40 gal)
Sistema de refrigeración	18.5 l (19.5 qt)
Cárter, filtro incluido	19 L (20 qt)
Caja de transmisión	58 l (15.3 gal)
Carcasa del eje de tracción delantera	5.0 L (5.3 qt)
Cubo de rueda de tracción delantera	0.8 l (0.85 qt)

Tabla 11
Especificaciones generales de las dimensiones y peso

Dimensiones, Estructuras y Pesos	
Distancia entre ejes	2636 mm
Largo máximo	4459 mm
Rango trocha delantera	1616 - 2016 mm
Rango trocha posterior	512 - 2016 mm
Despeje mínimo al suelo	457 mm
Estructura protectora	ROPS (sistema de seguridad antivuelco)
Peso aproximado	4400 Kg neto - Opcional Lastre
Llantas Posteriores	23.1-30 R2
Llantas Delanteras	14.9 - 24 R2

Tabla 12
Especificaciones del sistema eléctrico

Sistema eléctrico — 12V, masa negativa	
Tensión de batería	12 V
Amperios de arranque en frío	550
Amperaje del alternador	75
Potencia del motor de arranque	3.1 kW (4.2 CV)

2.13 Descripción general de la maquinaria

Para el cuidado y el correcto uso de la maquinaria es importante conocer y estudiar el manual del propietario que viene junto a la maquinaria como se observa en la figura 24. En el manual de la maquinaria definen el uso y funcionamiento general de la maquinaria para la correcta operación en el campo o carreteras.



Figura 24. Manual de operación de maquinarias agrícolas (Deere & Company, 2016)

2.13.1 Mandos e Instrumentos.

Las maquinarias agrícolas vienen incorporados una serie de controles, para su correcta operación se detallan todos sus mandos de manera general para su identificación y su correcto uso.

2.13.2 Controles del habitáculo del operador

Los controles están ubicadas cerca del puesto del operador para su fácil maniobrabilidad y operación de la maquinaria, en la figura 25 y 26 se observa e identifica cada parte de los controles de la maquinaria.

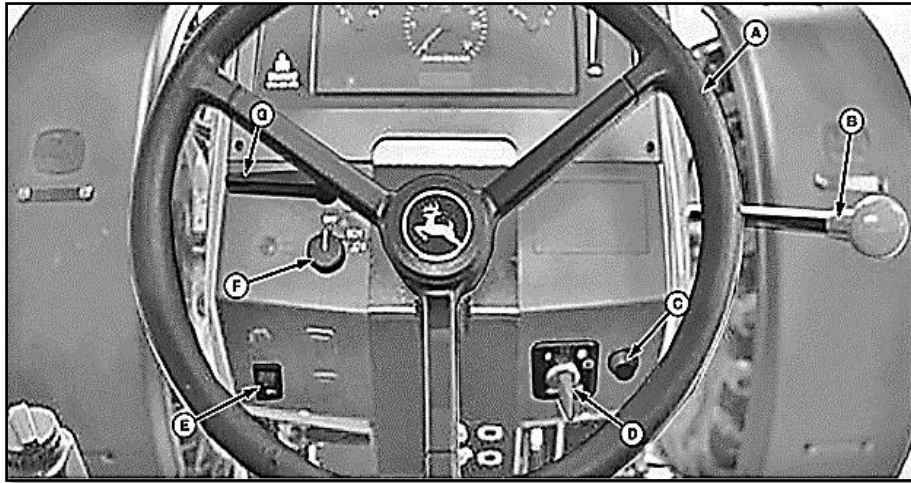


Figura 25. Controles de la consola delantera (Deere & Company, 2016)

Donde:

A - Volante

B - Palanca del acelerador

C - Bocina

D - Llave de contacto

E - Interruptor de luces largas/cortas

F - Interruptor de luces

G - Interruptor de intermitencias de giro

H - Palanca de inclinación del volante

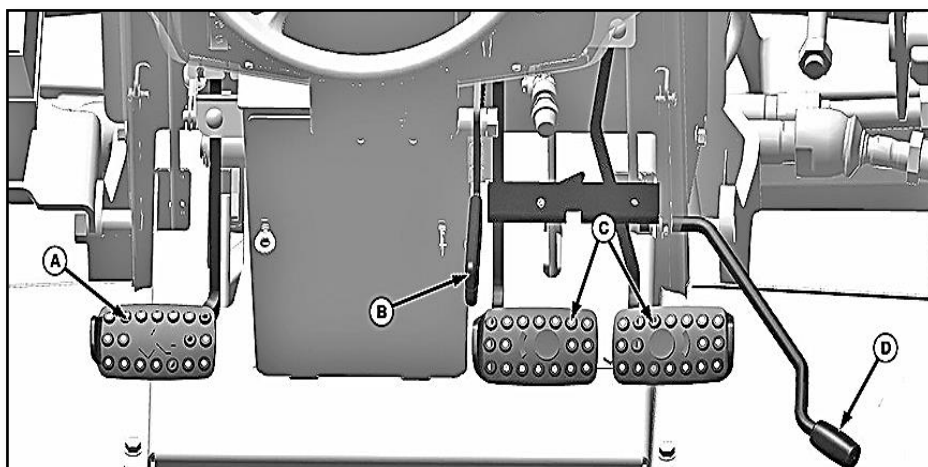


Figura 26. Pedales de controles del tractor 6603 (Deere & Company, 2016)

Donde:

- A. Pedal del embrague
- B. Freno de mano
- C. Pedales de freno izquierdo y derecho
- D. Pedal del acelerador

2.13.3 Controles de la consola derecha

En el lado derecho de la maquinaria se encuentra ubicados una serie de controles, para controlan el sistema del levante hidráulico, válvulas de mando a distancia, selección de cambios de la transmisión, traba del diferencial, etc. En la figura 27 se observan e identifican cada control.

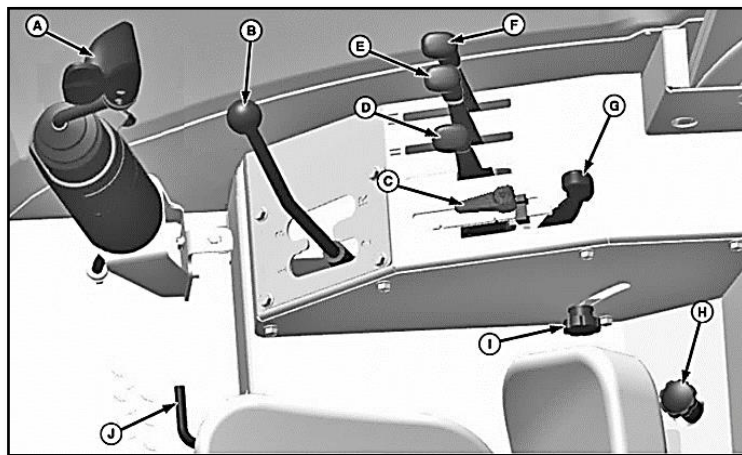


Figura 27. Controles del lado derecho del tractor 6603 (Deere & Company, 2016)

Donde:

- | | |
|---|---|
| A - Palanca de mando de control selectivo | F - Palanca de control de la VMD (válvula de mando a distancia) III |
| B - Palanca de cambio de marchas 1, 2, 3 | G- Control de profundidad del eje elevador |
| C - Mando de tope del control de posición | H- Control de velocidad del eje elevador |
| D - Palanca de control de la VMD (válvula de mando a distancia) I | I - Control de carga del elevador |
| E - Palanca de control de la VMD II | J - Pedal del bloqueo del diferencial |

2.13.4 Controles de la consola izquierda

En el lado izquierdo de la maquinaria se encuentra ubicados los siguientes controles; palanca de control de la toma de fuerza (TDF), palanca de gamas de velocidad A, B, C, palanca de la tracción delantera (TDM), en la figura 28 se identifican los controles.

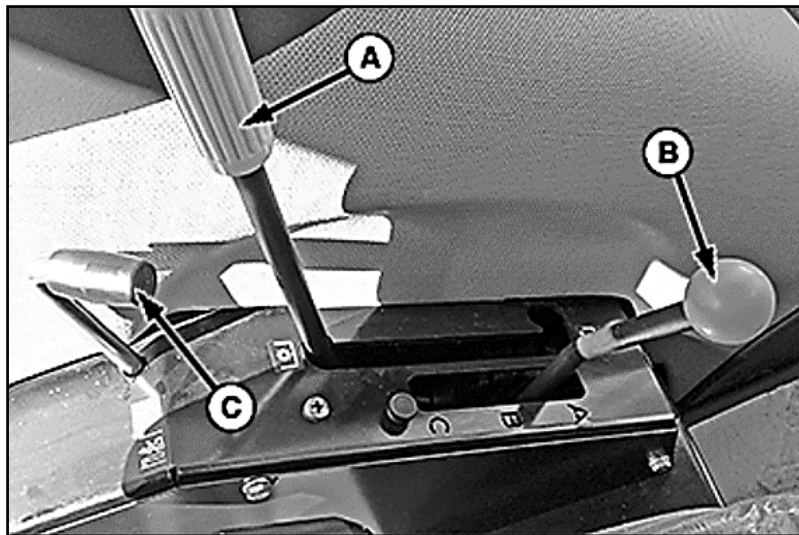


Figura 28. Controles del lado derecho del tractor 6603 (Deere & Company, 2016)

Donde:

- A. Palanca de la toma de fuerza (TDF)
- B. Palanca de rangos o gamas de velocidad A, B y C
- C. Palanca de la tracción delantera mecánica (TDM)

2.13.5 Sistema de seguridad de arranque del motor

Para poner en marcha el motor siempre hay que cumplir las siguientes condiciones:

- a) Seleccionar la palanca de cambio en punto muerto “Neutro”.
- b) Seleccionar la palanca de la TDF en la posición desactivada.

Si la palanca de cambio de marchas y la palanca de la TDF no se encuentran en estas posiciones el motor de arranque no funcionará.

2.14 Funcionamiento del tren de transmisión de fuerza

En la figura 29 se observa de manera detallada la dirección del flujo de potencia de la maquinaria agrícola desde su inicio hasta su fin.



Figura 29. Flujo de potencia de la maquinaria agrícola

En la figura 30 se observa, las diferentes partes de un tractor agrícola, identificadas y distribuidas en corte, mostrando los distintos conjuntos de componentes que conforman el sistema de tren de fuerza de una maquinaria agrícola.

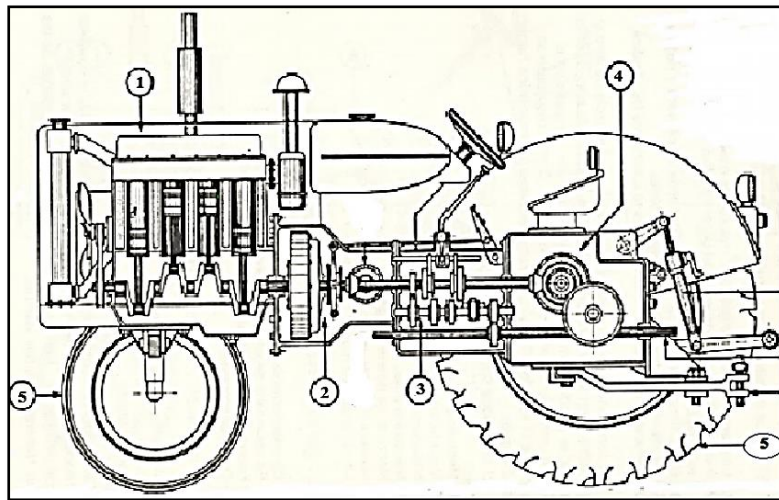


Figura 30. Flujo de potencia de los tractores agrícolas (Menbreño, 2007)

Donde:

1. Motor de combustión interna
2. Sistema de embrague
3. Transmisión TSS
4. Conjunto diferencial
5. Ruedas

2.15 Motor de combustión interna (MCI)

Es una de la parte más importante de la maquinaria agrícola es la encargada de generar la potencia necesaria para el funcionamiento general del equipo. El MCI es el encargado de transformar la energía química del proceso de combustión en energía mecánica, para impulsar y generar el funcionamiento de otro sistema. El flujo de la potencia del motor se lo transmite hacia el sistema de embrague.

En la figura 31 podemos observar el motor de 120 Hp del tractor agrícola modelo 6603.

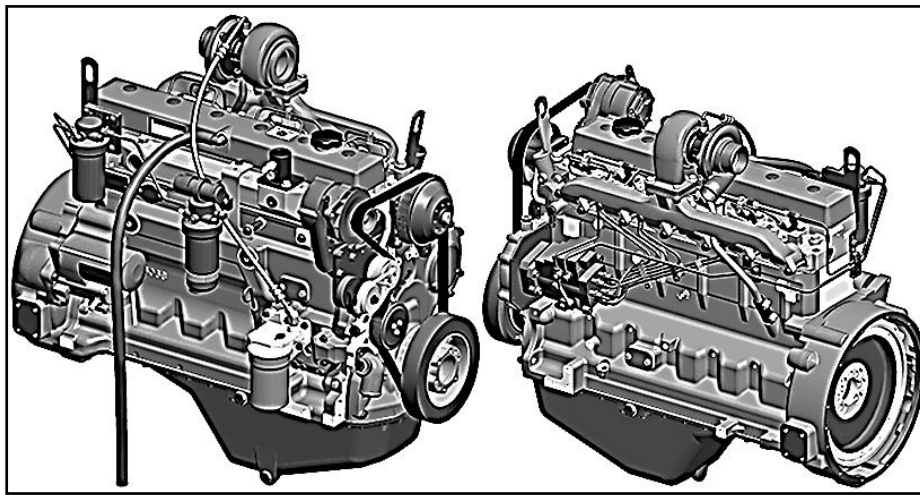


Figura 31. Motor de combustión interna del tractor modelo 6603 (Deere & Company, 2016)

2.16 Sistema de embrague

Este sistema que se encuentra ubicado en la parte posterior del motor de combustión interna como se muestra representativamente en la figura 32, es la encargada de conectar la potencia de salida del eje cigüeñal del motor hacia los órganos de transmisión de la caja de cambios del sistema del tren de fuerza del equipo.

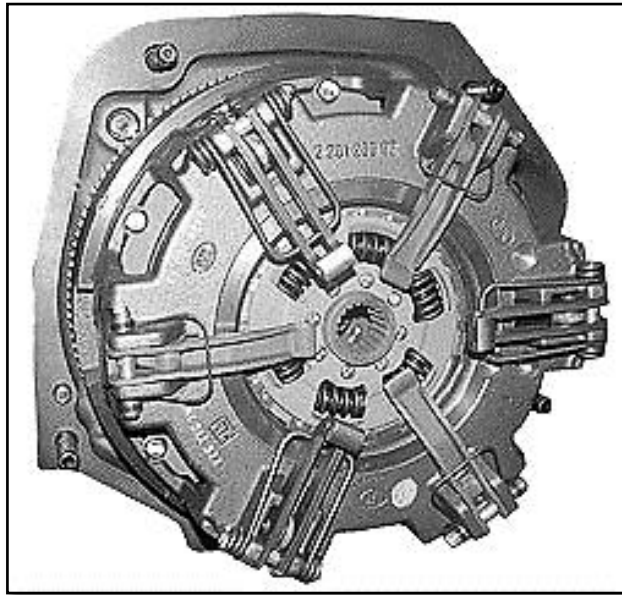


Figura 32. Sistema de embrague del tractor agrícola 6603 (Deere & Company, 2016)

Este sistema es de vital importancia para desengranar y embragar utilizando el pedal de embrague y de esa manera seleccionar las distintas combinaciones de cambios de velocidad y gamas de velocidad del tractor.

El sistema de embrague está conformado de dos conjuntos de embragues secos separados como se lo identifica en la figura 33.

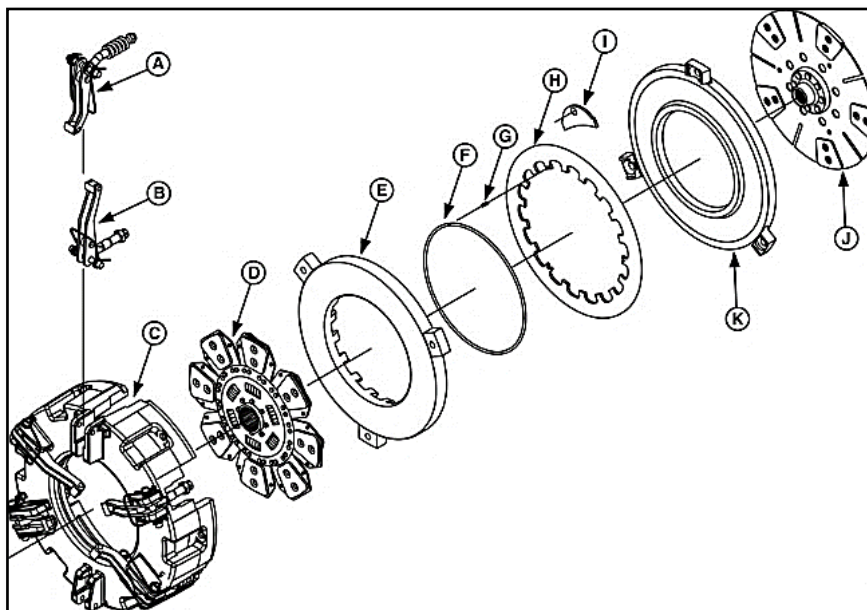


Figura 33. Conjunto de embrague de tracción y TDF (Deere & Company, 2016)

Donde:

1. El embrague de tracción “D”, controla el engrane de las combinaciones de gama y marcha para las velocidades de avance.
2. El embrague de la TDF “J”, controla el engrane de la toma de fuerza para accesorios motorizados.

2.17 Caja de velocidad.

Es un conjunto de componentes que se encuentran ubicados en la parte media del tractor como se exhibe en la figura 34, que tiene como función principal, transformar el giro y torque del eje cigüeñal del motor de combustión interna (MCI), para entregarlo al sistema diferencial.

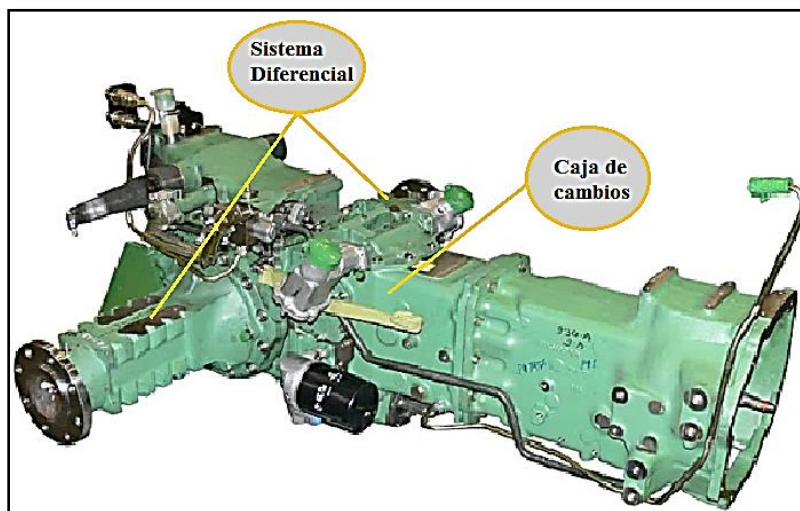


Figura 34. Caja de cambios del tractor agrícola (Motrac , 2015)

La caja de cambios es un mecanismo encargado de desmultiplicar el giro del motor aprovechando y regulando así la energía suministrada, ya sea en forma de par o de velocidad angular.

Las funciones de este elemento son:

- Conseguir que el motor funcione a pleno rendimiento.
- Adaptar la fuerza en las ruedas a las condiciones necesarias.

- Interrumpir la transmisión de fuerza a las ruedas sin tener que detener el motor o hacer uso del embrague.
- Invertir el giro procedente del motor para hacer retroceder al vehículo.

Este elemento se encuentra intercalado entre el motor y las ruedas motrices (posteriores y delanteros) permitiendo variar la velocidad del vehículo, adaptándola a las condiciones de marcha, mientras el régimen de giro del motor se mantiene en las condiciones óptimas de funcionamiento. A través de este sistema se consigue que la velocidad de giro del cigüeñal pueda convertirse en distintas velocidades de giro en las ruedas (posteriores y delanteros). Internamente, una caja de cambios consta de una serie de ejes y engranajes, lubricados por aceite hidráulico.

2.17.1 Elementos de la caja de cambios manual.

Los elementos que conforman una caja de tres ejes, de toma constante y cambios sincronizados, son los siguientes:

- Eje primario
- Eje intermedio
- Eje secundario
- Eje de marcha atrás
- Mando de cambio
- Caja o cárter
- Sensores
- Conjunto de sincronización
- Sistema de seguridad
- Conjunto de horquillas y ejes
- Mecanismo de retención

2.18 Análisis de funcionamiento del eje de entrada de la transmisión TSS

El eje de entrada de la transmisión YZ91406 (A) componente de estudio, que se muestra en la figura 35, es el componente más importante del sistema de tren de fuerza de la maquinaria agrícola modelo 6603, permite conectar la potencia de salida directa del motor

(120 hp) y transmitirla la caja de transmisión TSS (transmisión de eje superior sincronizado), controlada mediante el sistema de embrague.

En la figura 36, podemos observar el flujo de potencia desde el motor hacia la caja de cambios de la transmisión TSS.

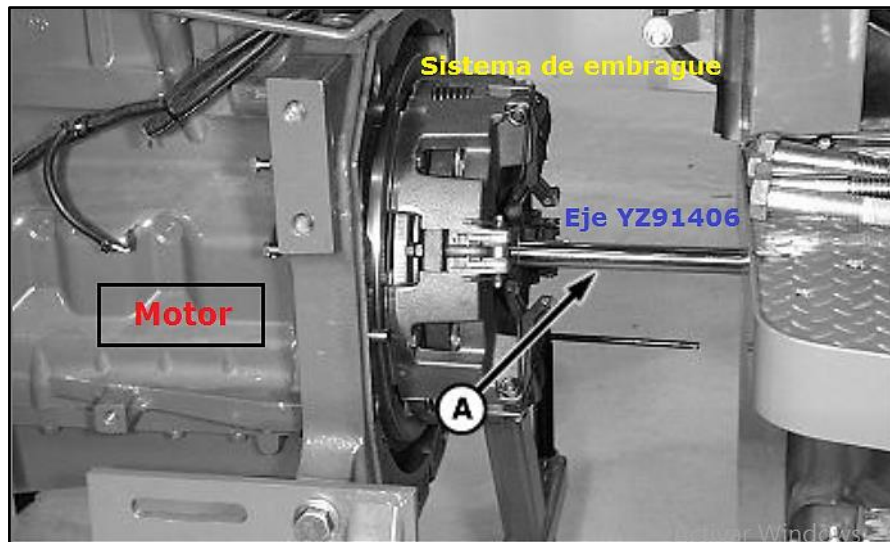


Figura 35. Eje de entrada de la transmisión YZ91406 (Deere & Company, 2016)

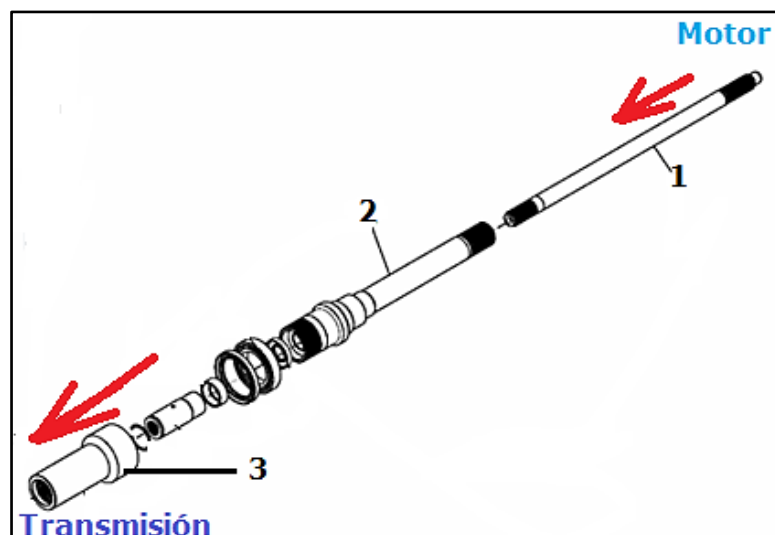


Figura 36. Flujo de potencia desde el motor hacia la transmisión (Deere & Company, 2016)

Donde:

1. Eje de la PDF
2. Eje de entrada de la transmisión
3. Acople de conexión del eje de la transmisión hacia el eje de 1ra etapa de la transmisión

El eje (YZ91406) pieza de estudio, es un elemento mecánico de alta resistencia que conforma al conjunto del sistema de embrague, se encuentra alojado en el interior de la caja del sistema de embrague, como se observa en las figuras 37 y 38.

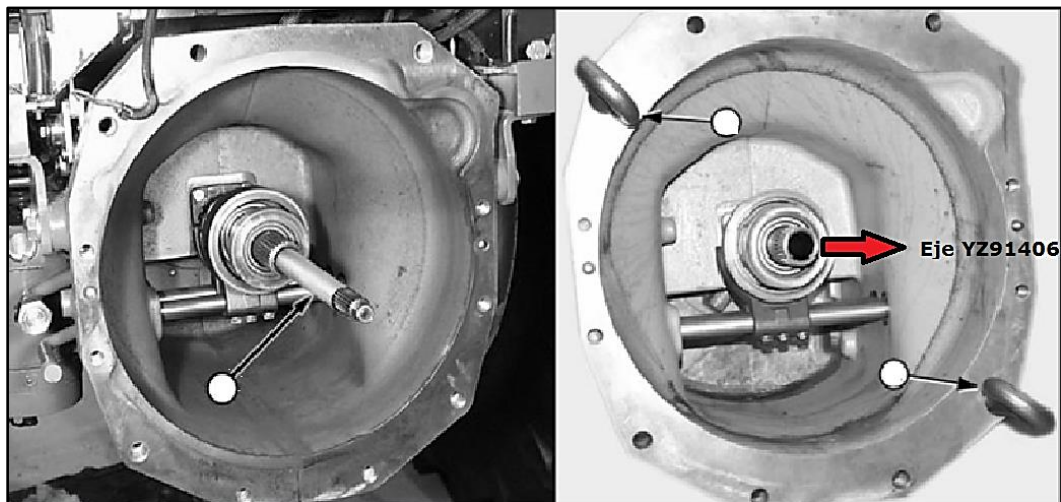


Figura 37. Eje del PTO y transmisión YZ91406 (Deere & Company, 2016)

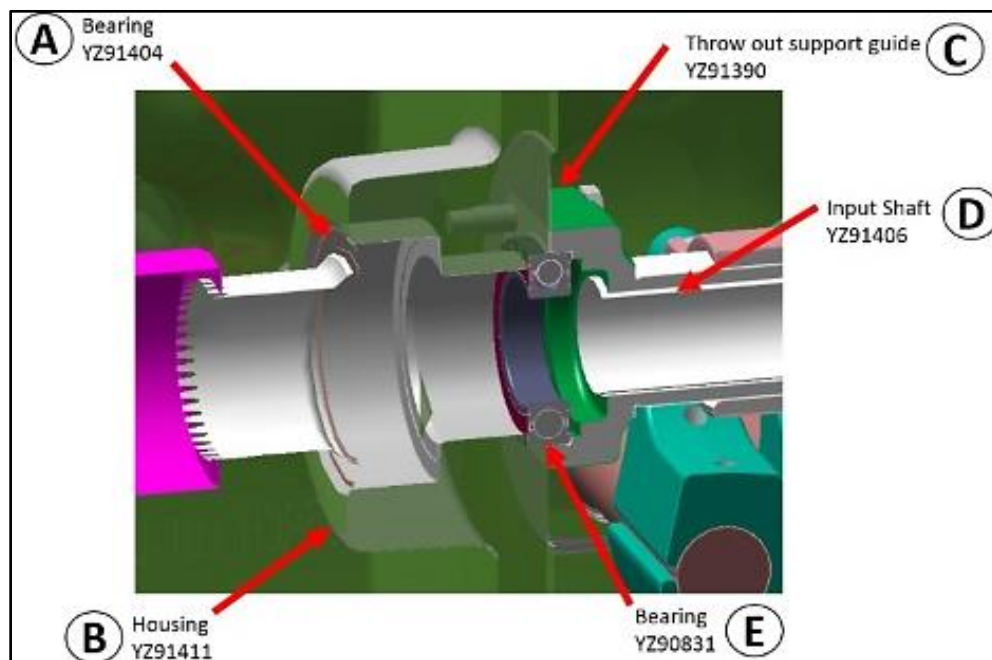


Figura 38. Habitación interior de alojamiento del eje YZ91406 (Motrac, 2019)

En la figura 39, podemos observar los componentes que trabajan relacionados al eje de entrada de la transmisión.

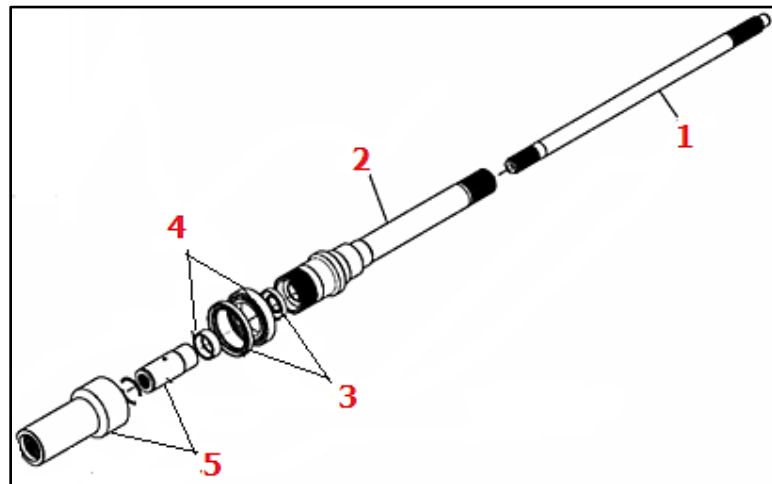


Figura 39. Piezas que trabajan junto al eje de la transmisión (Deere & Company, 2016)

Donde:

1. Eje del TDF
2. Eje de entrada de la transmisión
3. Retenedores
4. Rodamientos
5. Acopladores

En la figura 40 podemos observar que el eje de entrada de la transmisión (YZ91406) se conecta directamente con el eje sincronizado de primera etapa.

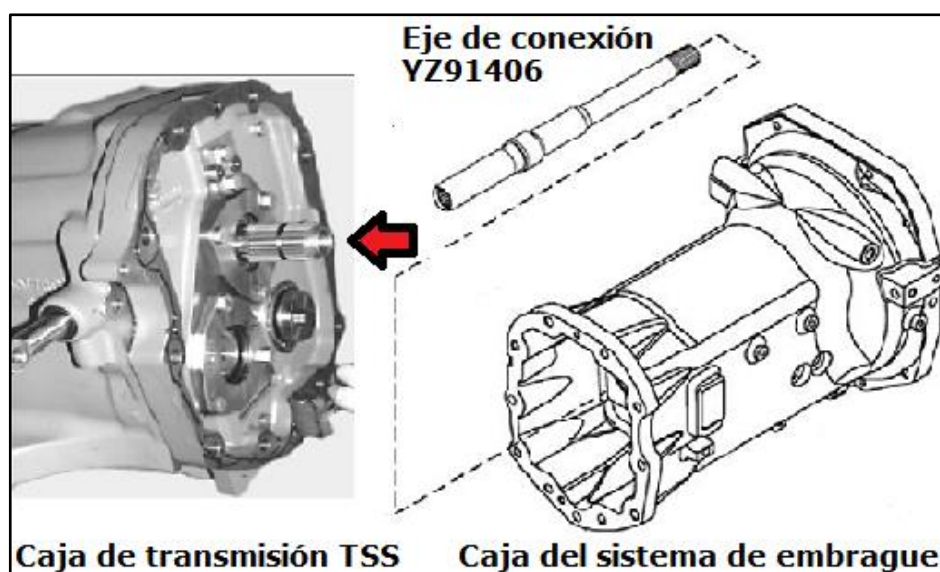


Figura 40. Caja del sistema de transmisión y sistema de embrague (Deere & Company, 2016)

2.19 Transmisión TSS

“La transmisión TSS, permite seleccionar cualquier marcha de avance o retroceso mientras el tractor aun este en movimiento” (Deere & Company, 2016).

La palanca de cambio de grupos o gamas de velocidad “A” que se muestra en la figura 41, proporciona tres grupos de velocidades de avance: A, B y C.

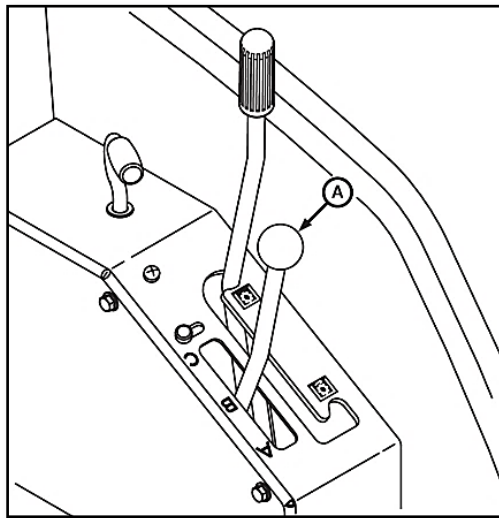


Figura 41. Palanca de controles de gamas (Deere & Company, 2016)

La palanca de cambio de marchas “B” como se observa en la figura 42, cuenta con tres velocidades de avance: 1ª, 2ª, 3ª, y una de retroceso.

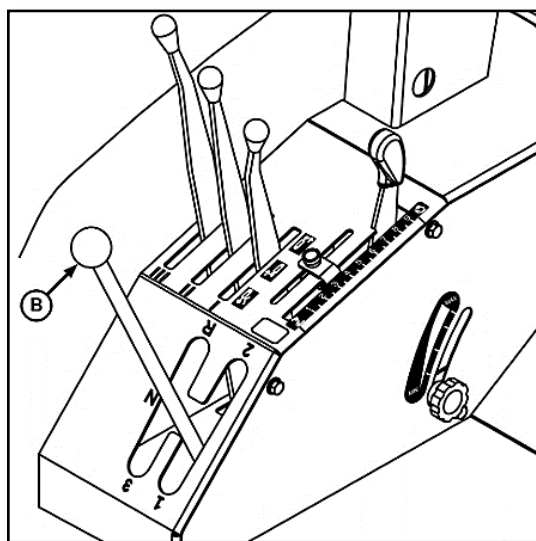


Figura 42. Palanca de controles de cambios (Deere & Company, 2016)

El flujo de potencia de la transmisión incluye tres marchas de avance y una de retroceso en cada una de las tres gamas disponibles A, B y C. Cuando las combinaciones de gamas y marchas varían, lo mismo sucede con el flujo de potencia a través de las combinaciones de engranajes de la transmisión. Al combinar las distintas posiciones de las palancas de cambio de grupos y de marchas, se pueden obtener 9 marchas de avance y 3 marchas de retroceso como se representa en la figura 43.

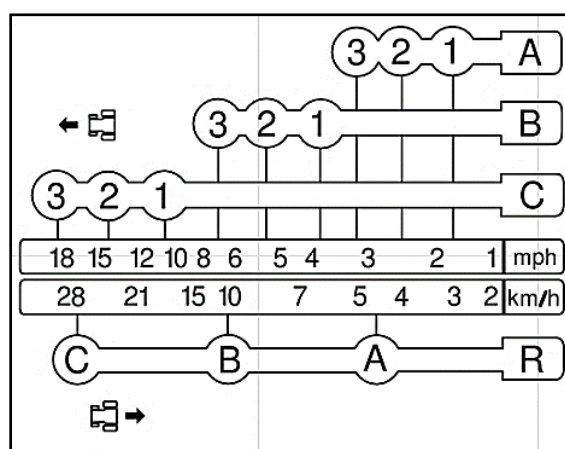


Figura 43. Combinación de velocidades rangos y cambios (Deere & Company, 2016)

En la tabla 13 se muestra e identifican las especificaciones de las velocidades de la máquina en cada uno de los grupos y marchas.

Tabla 13
Velocidades de avance de la transmisión TSS

Grupo/ Marcha	km/h	Mph
A1	3.1	1.9
A2	4.3	2.7
A3	5.3	3.3
B1	6.6	4.1
B2	9.0	5.6
B3	11.2	7.0
C1	18.3	11.4
C2	25.1	15.6
C3	31.2	19.4
A-Marcha atrás	5.0	3.1
B-Marcha atrás	10.6	6.6
C-Marcha atrás	29.3	18.2

2.19.1 Ejes de transmisión (TSS)

En la figura 44, se observar de manera interna el grupo de transmisión completó con sus distintos ejes de salida.

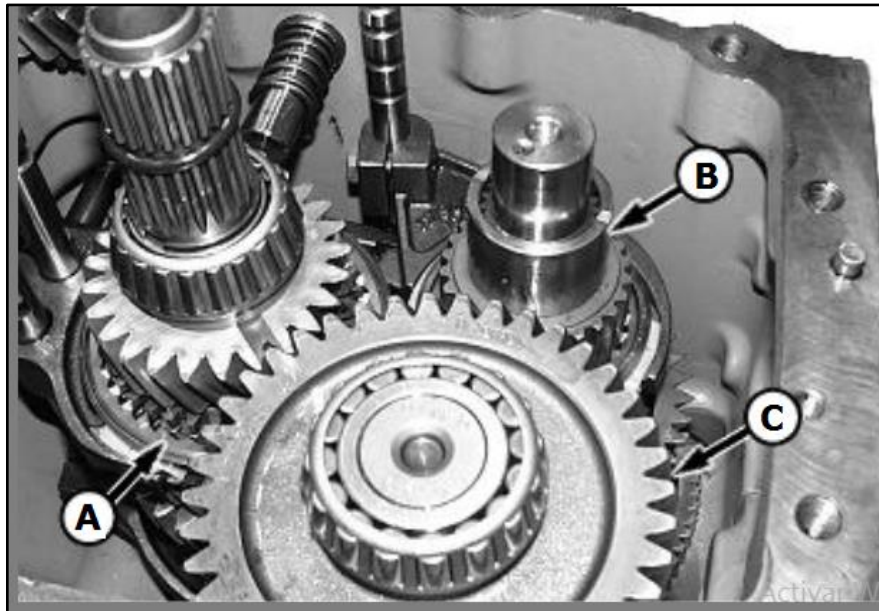


Figura 44. Vista interna del grupo de transmisión (Deere & Company, 2016)

Donde:

A- Conjunto del eje de 1ra etapa de transmisión sincronizada (figura 45), rangos de velocidad 1ra, 2da, 3ra y retro.

B- Conjunto del eje de 3ra etapa del grupo de gamas o rangos A, B, C (figura 46).

C- Conjunto del eje 2da etapa, conecta al grupo de velocidad y gamas (figura 47).

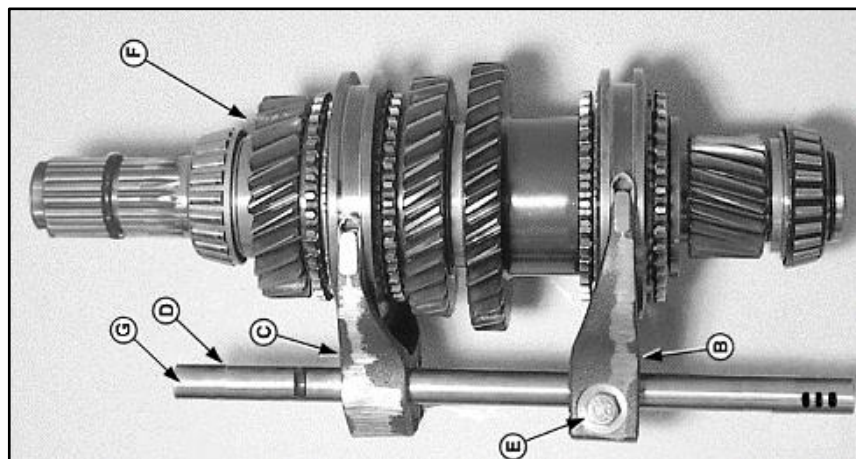


Figura 45. Conjunto de eje de primera etapa (Deere & Company, 2016)

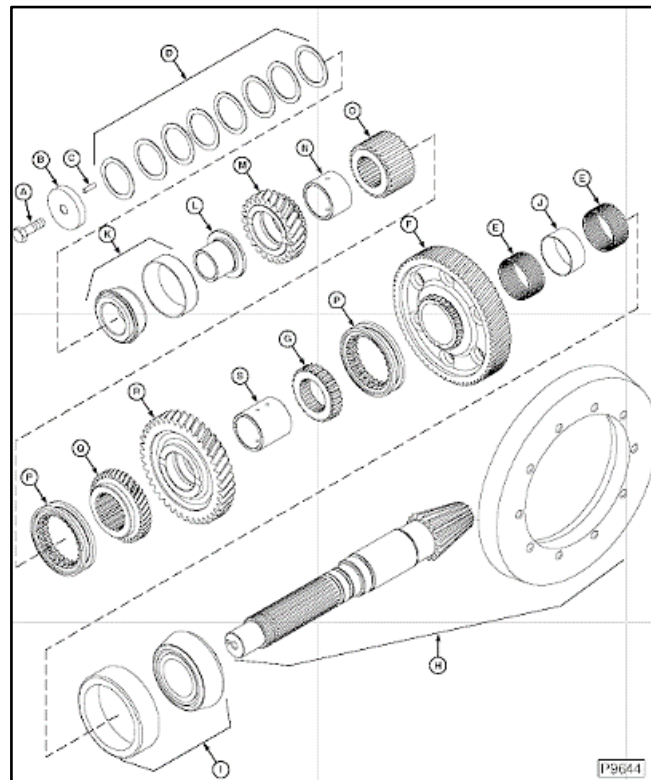


Figura 46. Conjunto del eje de tercera etapa del grupo de gamas (Deere & Company, 2016)

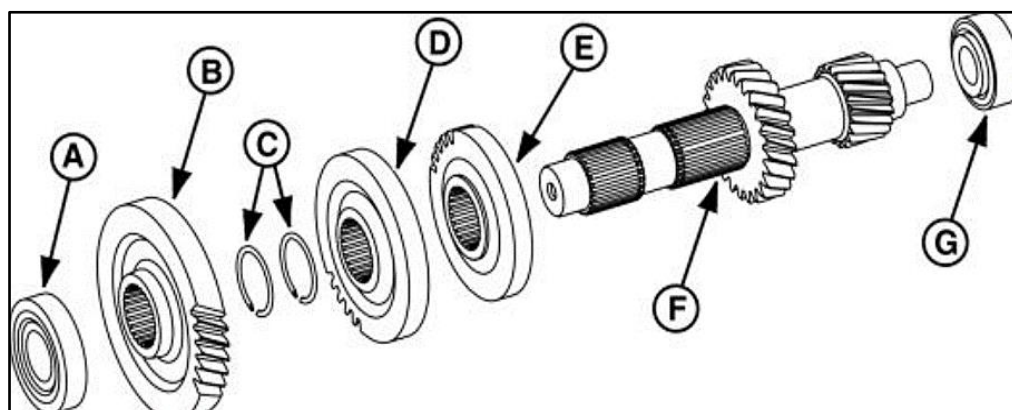


Figura 47. Conjunto del eje de segunda etapa (Deere & Company, 2016)

Donde:

A - Balero

B - Engranaje helicoidal de 40 dientes

C - Anillos elásticos (2)

D - Engranaje helicoidal de 35 dientes

E - Engranaje helicoidal de 31 dientes

F - Contraeje de segunda etapa, engranajes helicoidales de 19 y 24 dientes,

G - Balero

2.20 Conjunto diferencial MFWD

Son componentes ubicados en la parte delantera y posterior del tractor, encargados de transmitir la potencia proveniente de la caja de cambios hacia el sistema de mandos finales delanteros y posteriores como se observa en la figura 48, el diferencial delantero se conecta por medio del cardan de conexión para transmitir tracción en las 4 ruedas.

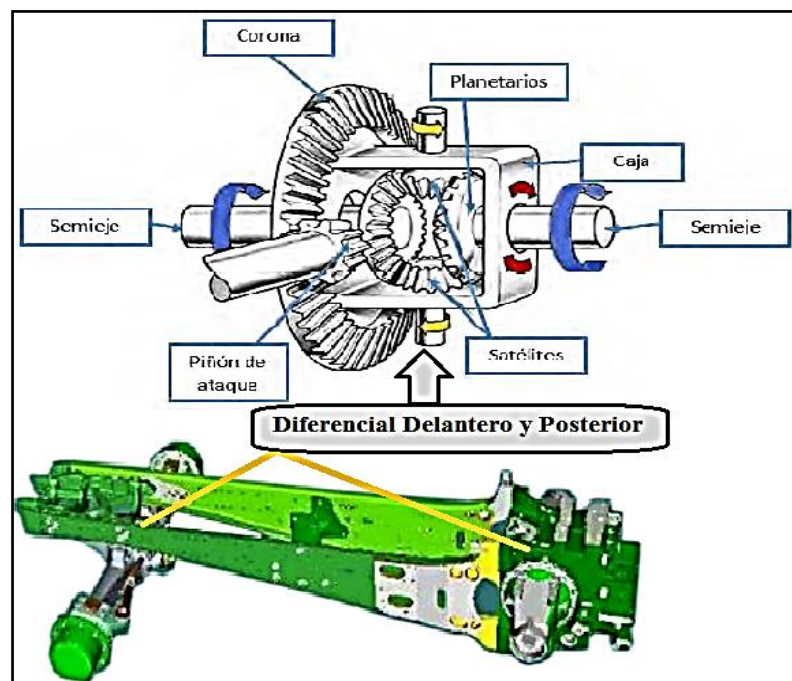


Figura 48. Diferencial delantero y posterior (Motrac, 2019)

La función del diferencial es transmitir la potencia del eje de salida de la tercera etapa de la transmisión TSS hacia los ejes de piñón de los mandos finales. En la figura 49 se muestran las partes internas del diferencial.

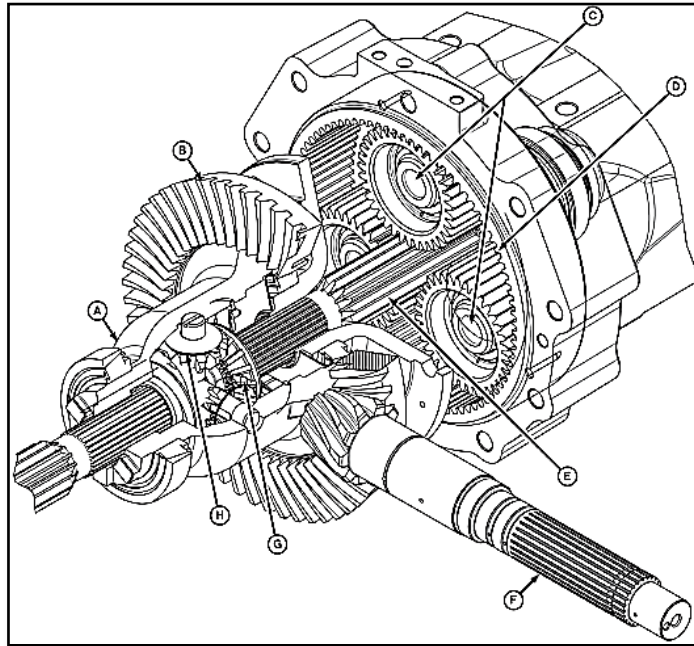


Figura 49. Partes del conjunto diferencial (Deere & Company, 2016)

Donde:

A - Porta planetarios

E - Eje de piñón del mando final

B - Corona dentada

F - Eje de salida de transmisión 3ra etapa

C - Conjunto de porta planetarios

G - Engranajes cónicos laterales

D - Corona dentada de mandos finales

H - Piñones cónicos o piñones satélites

El conjunto de diferencial consiste en una corona dentada (B) empernada al porta planetarios (A). Dentro del porta planetarios hay dos engranajes cónicos (G) y cuatro piñones cónicos (H). La potencia de salida del eje (F) de la tercera etapa de la transmisión es transmitida a través del conjunto de diferencial al eje (E) de piñón del mando final. El eje de piñón del mando final está engranado con tres engranajes planetarios en el porta planetarios (C). Estos engranajes planetarios se desplazan alrededor del interior de la corona dentada (D) del mando final, causando la rotación del eje del puente y de esta manera permite que cada rueda gire a velocidades variables. (Deere & Company, 2016)

2.21 Mandos finales.

Son elementos ubicados a los laterales del diferencial delantero y posterior como se muestran en la figura 50, son encargados de transmitir la potencia de giro a las llantas.

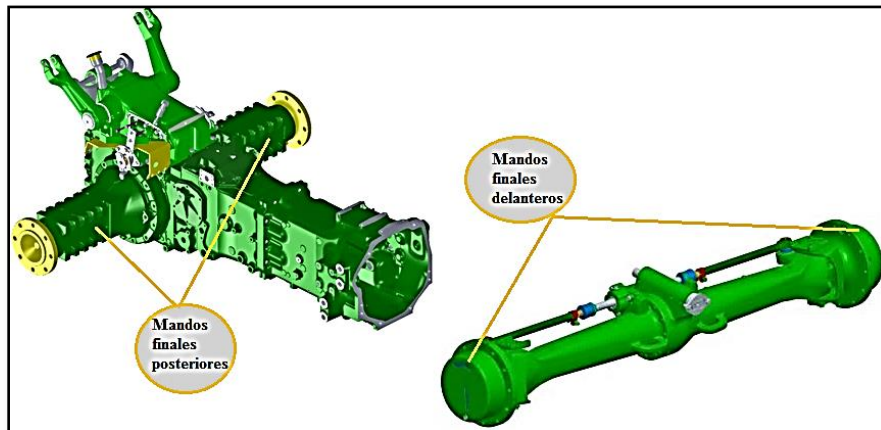


Figura 50. Mandos finales posteriores y delanteros (Motrac , 2015)

2.22 Ruedas

El conjunto de ruedas es el último elemento quien recibe toda la potencia proveniente del grupo de diferencial y mando final como se observa en la figura 51, de esta forma permitir el desplazamiento de la maquinaria en cualquier sentido para realizar labores de trabajo en el campo.

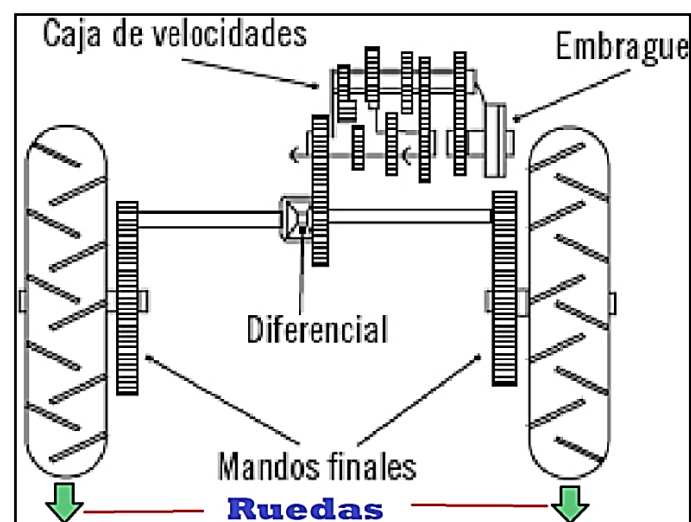


Figura 51. Ruedas receptoras del flujo de potencia (Deere & Company, 2016)

2.23 Los rodamientos

Son elementos mecánicos rotativos que reduce la fricción entre los ejes o pistas, sirve de apoyo y facilita su desplazamiento, en la figura 52 se identifican y muestran las partes de los rodamientos. Un rodamiento está conformado por un anillo interior y un anillo exterior con su respectiva pista de rodadura, cuerpos rodantes y un soporte de distancia que sujeta los cuerpos rodantes, que se denominan jaula (canastilla). (Nieto, Rafael, & Galvís, 1985, pág. 6)

Los rodamientos normales se construyen generalmente en aceros duros con alta resistencia a la fatiga, y al desgaste, con una dureza del orden de 500-700 brinell. Generalmente el material de fabricación de los rodamientos son de; acero al cromo, acero al cromo-manganeso o al cromo-níquel.

Tanto el anillo interior como el anillo exterior están contruidos en acero especial.

La jaula o canastilla según el caso puede estar contruida en aceros más blandos como; poliamida, resina fenólica, latón o bronce.

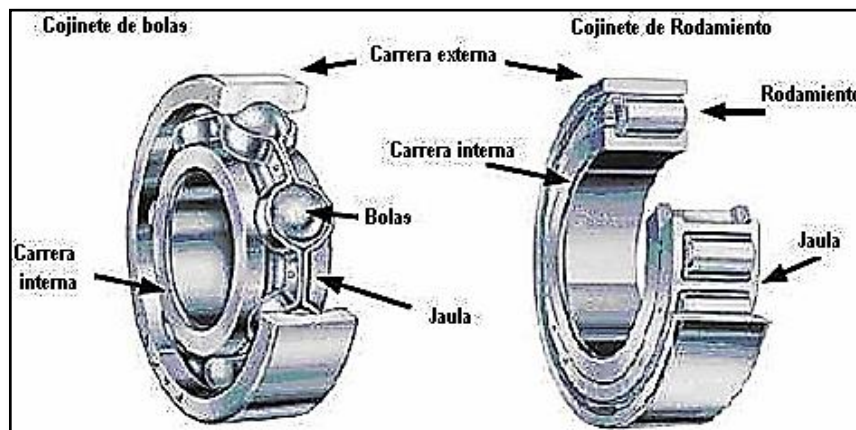


Figura 52. El rodamiento y sus partes (All test Pro, 2009)

La utilización de los distintos tipos de rodamientos están establecidos de acuerdo a la clase de carga a la que van a estar expuestos cada rodamiento según su tipo aplicaciones, en la figura 53 se muestran los efectos de cargas que se producen, las principales cargas que deben soportar son:

- Carga radial
- Carga axial
- Carga combinada o angular.

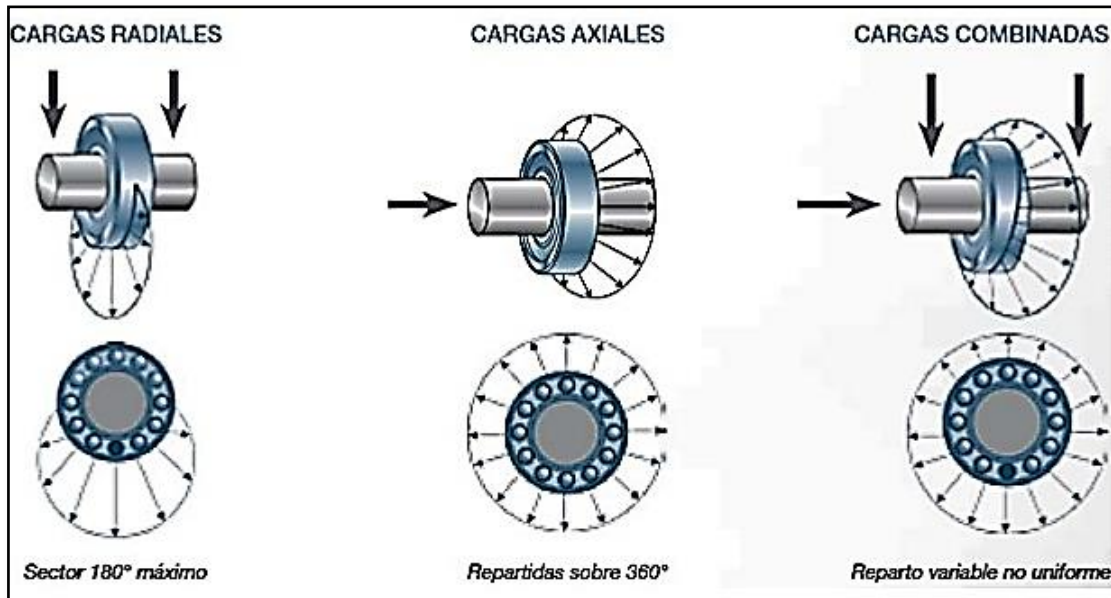


Figura 53. Esfuerzos durante la rodadura (Rojas , 2015)

Carga radial: Es el esfuerzo o fuerza aplicada perpendicularmente al eje.

Carga axial: Es el esfuerzo o fuerza aplicada paralelamente al eje.

Carga combinada: Es la aplicación a un mismo tiempo de una carga radial y de una carga axial, lo cual da como resultado una fuerza aplicada angularmente de acuerdo a la resultante de la suma vectorial de las dos fuerzas. (Rojas , 2015)

2.23.1 Tipos de rodamientos.

Hay tres formas de clasificar los rodamientos (Rojas , 2015):

Según la dirección de la carga

- Rodamientos radiales
- Rodamientos axiales
- Rodamiento de contacto angular

Según la rigidez del rodamiento

- Rodamientos rígidos
- Rodamientos rotulados

Según el elemento rodante

- Rodamientos rígidos de bolas
- Rodamientos con contactos angulares
- Rodamientos de aguja
- Rodamientos de rodillos cónicos
- Rodamientos de rodillos cilindros de empuje
- Rodamientos axiales de rodillos a rótula
- Rodamiento de bolas a rotula
- Rodamiento de rodillos cilíndrico
- Rodamiento de rodillos a rotula
- Rodamiento axiales de bola de simple efecto

2.23.2 Mantenimiento de rodamientos.

La inspección periódica de los rodamientos es una operación crítica para garantizar un funcionamiento óptimo. Las inspecciones de mantenimientos de los rodamientos de las maquinarias deben realizarse durante periodos planificados, intervalos regulares, intervalos de parada, mantenimientos rutinarios, según las horas de trabajo, etc. (Bisbal, 2014, pág. 1)

Los tipos de mantenimientos de los rodamientos son las siguientes:

- Predictivo
- Preventivo
- Correctivo

Los rodamientos de las maquinarias que funcionan en condiciones críticas o en entornos muy severos necesitan comprobaciones frecuentes adicionales e incluso utilizar instrumentación avanzada y métodos avanzados para determinar los diferentes tipos de fallas, tales como (Bisbal, 2014, pág. 3):

- Análisis de vibración estándar
- Análisis de vibración de modulado
- Ultrasonido
- Termografías
- Estroboscopia
- Alineación de ejes
- Alineación de poleas
- Balanceo dinámico

Los tres factores importantes durante las inspecciones de mantenimientos periódicos que hay que realizar son; escuchar, tocar y observar.

2.23.2.1 Escuchar.

Es un método común de identificar cualquier irregularidad en el funcionamiento de la maquinaria, consiste en escuchar atento el sonido que emiten en distintas áreas de trabajos de los rodamientos, generalmente las herramientas que se utilizan para la inspección es el estetoscopio mecánico o electrónico, de esta forma podemos identificar distintas fallas y anomalías en los rodamientos, tales como (Bisbal, 2014):

- Ruidos anormales; zumbidos, chirridos, golpes, arañazos y rozamientos.

2.23.2.2 Tocar.

Es un método común para identificar la temperatura de trabajo de los rodamientos, en las distintas áreas de su alojamiento de trabajo, para la inspección mediante este método

usualmente se lo realiza con el tacto de las manos, aunque también se utiliza la pistola infrarroja para determinar la temperatura de trabajo de los rodamientos y compararlos con las especificaciones técnicas de los manuales de cada tipo de maquinaria. El funcionamiento prolongado a temperaturas superiores a 125 grados centígrados de los rodamientos afecta su durabilidad establecida por el fabricante. (Bisbal, 2014)

Causas que provocan los sobrecalentamientos:

- Falta de lubricación
- Exceso de lubricación
- Impurezas en el lubricante
- Sobrecargas
- Daños en los rodamientos
- Falta de holgura o holgura excesiva
- Rozamiento excesivo en las obturaciones

2.23.2.3 Observar.

Este método es muy importante a considerar para el cuidado de los rodamientos y alargar la durabilidad de estos componentes, con este método de inspección visual podremos verificar y determinar diversos contaminantes que pueden afectar el funcionamiento adecuado, tales como (Bisbal, 2014):

- Agentes contaminantes externos; agua, lodo, pesticidas, falta de limpieza, etc.
- Agentes contaminantes internos; falta de lubricación, despedimientos de material, falla del componente, etc.

2.24 Valores orientativos de la vida útil de un rodamiento

Tomando en cuenta la teoría sobre los valores promedio más utilizados en la industria según la aplicación, podemos citar en la tabla 14, donde se muestran las consideraciones específicas de la durabilidad de los rodamientos.

Tabla 14
Vida útil de los rodamientos en diferentes maquinarias

Tipo de maquinaria	Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico.	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas durante breves períodos de tiempo: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción.	3 000 ... 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento durante breves períodos de tiempo: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas a su capacidad máxima: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras, etc.	10 000 ... 25 000

La tabla 14 muestran los valores orientativos de la vida útil de los rodamientos para los diferentes tipos de maquinarias (Carrasco J. , 2017)

La fricción siempre ha resultado un importante obstáculo a la hora de abordar cualquier diseño de maquinaria. Es una de las causas principales cuando se tratan aspectos como la eficiencia energética o el desgaste de los componentes y por ello influye decisivamente en las acciones de mantenimiento, puesto que dichos desgastes marcaran los periodos de revisión y cambio, factores que afectan al aspecto económico.

Por ello, a lo largo de la historia se han ideado diversos sistemas para reducir la fricción y facilitar el trabajo humano, constituyendo la ciencia que se conoce como tribología.

En particular, uno de los componentes de las máquinas que más esfuerzos y fricción soportan son los rodamientos, ejes y los árboles.

2.25 Análisis tribológico de fallas de rodamientos

Dentro de esta ciencia se estudia los movimientos y aceleraciones relativas que se originan entre los diferentes elementos de estudio. El análisis que hace esta ciencia es de mucha ayuda para desarrollar los diseños de los elementos, maquinarias, vehículos terrestres, aeronáuticos, submarinos y demás, ya que gracias a la tribología se pueden predecir: desgastes, temperaturas, fricción calor, selección de materiales, rendimiento y fiabilidad. (Carrasco J. , 2017, pág. 37)

2.25.1 Desgaste

Se puede definir el desgaste como la pérdida de material por la interacción entre dos cuerpos mediante una fuerza. Los cuerpos pueden ser de distintos materiales, de origen férrico, no férrico, metales, no metales que están sometidos a movimientos y aceleraciones relativas entre sí y generan distintos tipos de desgastes. (Carrasco J. , 2017, pág. 37)

Tipos de desgastes:

- Adherente
- Abrasivo
- Erosivo
- Por Ludimiento
- Por Fatiga
- Por vibración
- Por corrosión

2.26 Causas de fallas en los Rodamientos

Para que un rodamiento funcione de un modo fiable, es indispensable que esté lubricado adecuadamente, con el objetivo de evitar el contacto metálico directo entre los elementos

rodantes y los caminos de rodadura, para evitar el desgaste y proteger las superficies del rodamiento contra la corrosión. Por tanto, la elección del lubricante y el método de lubricación adecuado, así como un correcto mantenimiento, son cuestiones de gran importancia. (Carrasco J. , 2017, pág. 15)

Los indicadores de falla se traducen en: vibración, ruido y calor, signos que, si se detectan a tiempo como se muestra en la figura 54, podrán evitar daños mayores en los equipos o lesiones en operarios.

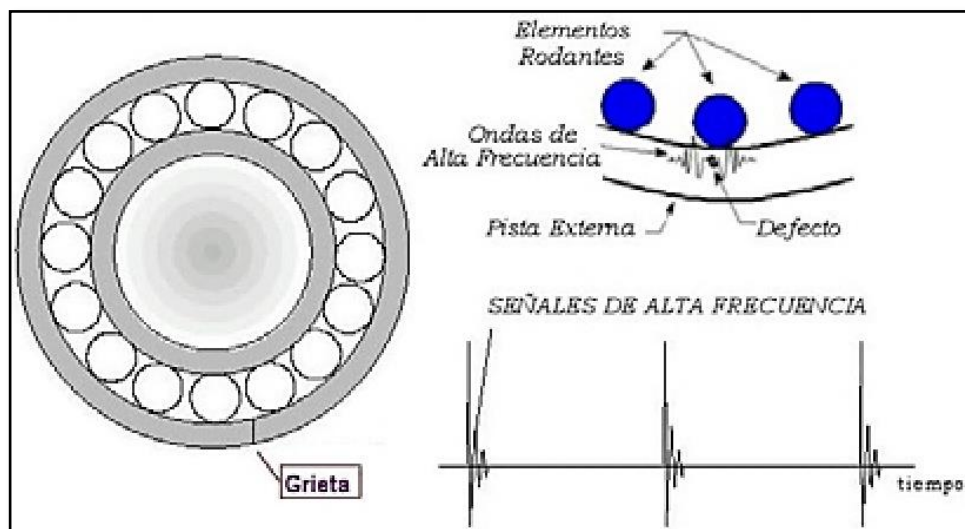


Figura 54. Generación de impactos sobre la presencia de un defecto (Estupiñan, 2016)

Los principales fabricantes de rodamientos cuentan con estadísticas como se detalla en la figura 55, donde indican que cerca del 16% de las fallas que se dan en los rodamientos son el resultado del mal manejo de estos. Esto es causado por el almacenamiento, transportación e instalación inadecuada del rodamiento. El 84% restante son instalados libres de defectos. (All test Pro, 2009, pág. 2)

El 36% de las fallas en rodamientos son el resultado de una lubricación deficiente, es decir, sobre lubricación o sub lubricación, en términos coloquiales lubricación inadecuada, mezcla de lubricantes o generación de una película límite de lubricante delgado, a menudo generado por una excesiva vibración en el eje. (All test Pro, 2009, pág. 2)

El 34% son el resultado de la operación inadecuada de los rodamientos como pudiera ser el desbalance, excentricidad entre eje, desalineamiento de poleas o remplazo indicado por los programas de mantenimiento preventivo. Por último, el 14% falla debido a la contaminación (All test Pro, 2009, pág. 3)

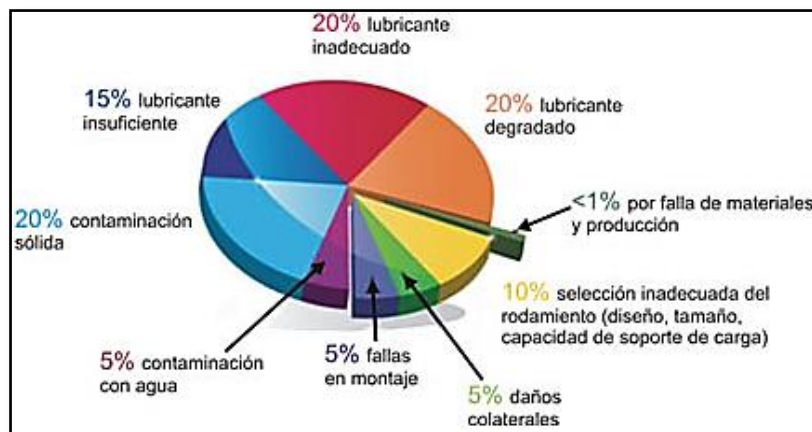


Figura 55. Causas de fallas en los rodamientos (All test Pro, 2009)

2.27 Montaje de rodamientos en ejes rotativos

El proceso de instalación de la rodadura de 2 cuerpos rodantes como son el rodamiento y el eje, el rodamiento va dispuesto y actúa como un elemento intermedio. Uno de los anillos del rodamiento está fijo y el otro gira. Por lo general el anillo exterior del rodamiento va adaptado contra la carcasa del soporte es el que está en reposo, mientras que el anillo interior va montado sobre el árbol girando con él como se percibe en la figura 56. (Nieto, Rafael, & Galvís, 1985, pág. 35)

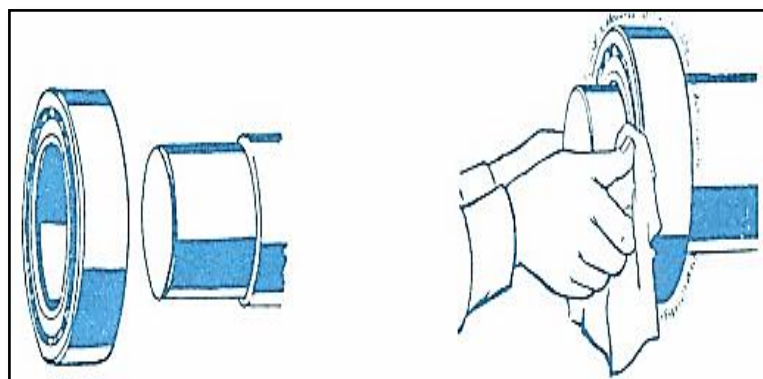


Figura 56. Montaje de rodamiento en eje rotativo (Nieto, Rafael, & Galvís, 1985)

En casos especiales puede ocurrir la forma inversa: gira el anillo exterior con la carcasa, mientras que el anillo interior está en reposo. En algunos casos pueden girar también ambos anillos (motor de doble inducido). Lo anterior nos indica que tanto el anillo exterior y el interior van ajustados a la carcasa y al eje respectivamente, condición indispensable para su funcionamiento. Los diámetros de ajuste de un rodamiento que se monta en un eje y una carcasa están determinados por tolerancias sistema ISO. (Nieto, Rafael, & Galvís, 1985, pág. 41)

2.28 Ejes

Los ejes son elementos que sirven de apoyo a otros elementos giratorios presentes en las máquinas (poleas, piñones, etc.). Estos elementos son utilizados en infinidad de máquinas y mecanismos de uso cotidiano en ingeniería como; bombas, reductores de velocidad, motores alternativos, polipastos, etc. En este amplio mundo de aplicaciones los hace merecedores de un tratamiento especial que permita evaluar su desempeño en cada una de las situaciones antes mencionadas, un adecuado estudio de ingeniería permitirá garantizar la funcionalidad de estos elementos. (Nieto, Rafael, & Galvís, 1985, pág. 22)

2.28.1 Clasificación de los ejes

Los ejes son elementos de revolución que adoptan variadas formas que dependen de factores de diseño como son:

- La magnitud de las fuerzas a las cuales sean expuestos
- Parámetros de espacio
- El tipo de apoyo a utilizar

El Atlas de Máquinas de Reshétov da una amplia clasificación de acuerdo a la aplicación o uso que se le vaya a dar:

Los ejes se dividen:

- Según su misión: en ejes de máquinas de transporte y elevadoras transportadoras y ejes de transmisión (dentados, de correas y otros).
- Según las condiciones de trabajo: giratorios y fijos.
- Según su misión: en ejes de transmisión, ejes de mecanismos auxiliares y arboles principales.
- Según la forma de sus ejes: con eje recto, acodado y con ejes variables (telescópicos y flexibles).
- Según su configuración: en lisos, escalonados y con estrías.

2.28.2 Materiales de fabricación de los ejes

Los materiales empleados para la construcción de los árboles deben distinguirse por las características de: resistencia suficientemente alta, pequeña sensibilidad a la concentración de tensiones, capacidad de poder ser tratados térmica y químico - térmicamente y poseer buena maquinabilidad. (López, 2012, pág. 8)

La resistencia y rigidez son factores clave siempre tomados en cuenta en la selección de un material. Es importante la confiabilidad relativa y la durabilidad de la pieza cuando se consideran alternativas posibles con respecto al material. (López, 2012, pág. 9)

Todos los aceros tienen esencialmente el mismo módulo de elasticidad. Entonces, si el requisito decisivo del árbol o eje es la rigidez, como todos los aceros se comportan igual, debe seleccionarse el de menor costo (incluyendo los costos de fabricación). El contenido de carbono, determina la máxima dureza que puede desarrollarse en el acero. El máximo potencial de dureza según el contenido de carbono puede llegar hasta cerca de 0,7%. Esto significa que se puede aplicar un tratamiento térmico a las partes con forma regular. (López, 2012, pág. 13)

Los elementos de aleación (manganeso, molibdeno, cromo, níquel) elevan la capacidad de temple del acero. Por lo tanto mejoran, el potencial de dureza y resistencia (el cual está controlado por cantidad de contenido del carbono) pueden obtenerse con tratamientos térmicos menos drásticos usando dichos elementos de aleación. (López J. , 2012, pág. 15)

2.29 Análisis de fallas mediante ensayos en laboratorios

Para determinar las fallas de los rodamientos y ejes se pueden realizar un sinnúmero de ensayos en laboratorios especializadas de elementos mecánicos, las cuales son:

- Análisis de espectrometría
- Análisis microscopía electrónica
- Análisis de dureza de material

2.30 La calidad de un producto

La calidad puede definirse como la conformidad relativa con las especificaciones, a lo que al grado en que un producto cumple las especificaciones del diseño, entre otras cosas, mayor su calidad o también como comúnmente es encontrar la satisfacción en un producto cumpliendo todas las expectativas que busca algún cliente, siendo así controlado por reglas las cuales deben salir al mercado para ser inspeccionado y tenga los requerimientos estipulados por las organizaciones que hacen certificar algún producto, como por ejemplo las normas ISO. (Wikipedia, 2019)

2.31 UNE-EN ISO 9000:2005

En esta norma se definen los términos relacionados con la calidad y se establecen directrices generales, orientadas tanto a proveedores como fabricantes, para desarrollar un sistema de gestión de la calidad. Estas directrices se basan en los conceptos de calidad total y mejora continua. También busca prevenir inconformidades en el sistema de calidad implantado en la empresa, en la que todo debe estar correctamente documentado como una

actividad que aporte valor y mantenida en el tiempo; la documentación puede incluir Manuales de Calidad, Procedimientos Operativos, Informes de Auditorías, Registros de Calidad, etc., acompañados de una política de auditorías internas que garanticen el seguimiento y mejora del sistema de gestión de calidad. (Damián , 2014, pág. 64)

2.32 UNE-EN ISO 9004:2009

La Norma ISO 9004 proporciona las directrices para el aumento de la eficacia y la eficiencia globales de la organización. El objetivo de la norma es ayudar a la compañía, mediante un enfoque de gestión de la calidad, a lograr el éxito sostenido, es decir, hacia la mejora del rendimiento, teniendo en cuenta las necesidades de todas las partes interesadas, no sólo de los clientes. (Damián , 2014, pág. 66)

2.33 Definición y objetivo de una política de calidad

La calidad puede definirse como el conjunto de rasgos y características de un producto, o servicio, que suponen la base de la satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente. Por lo tanto, la calidad supone asegurar la adecuación de las especificaciones del producto; la determinación de estas especificaciones corresponde al diseño, y deben adaptarse a las necesidades del cliente o el usuario. El diseño abarca también el proceso de fabricación, de forma que se determinen las especificaciones del producto con objeto de que sea fácil y barato tanto fabricarlo, como mantenerlo. Si el departamento de diseño, o el diseñador en concreto, identifican correctamente las necesidades y los gustos del cliente al que se dirigen, así como las capacidades y limitaciones del proceso de producción, desarrollará unas especificaciones óptimas. Si estas especificaciones se alcanzan en el proceso de fabricación, el producto tendrá un elevado nivel de calidad. (Damián , 2014, pág. 59)

Existen diversas razones que justifican una gestión basada en la satisfacción de la calidad del producto o servicio, entre ellas se pueden destacar (Damián , 2014):

- **Costos y participación en el mercado:** Una producción basada en el control de la calidad puede conducir a una mayor participación en el mercado, un ahorro de los costes y una mayor productividad.
- **La reputación de la compañía:** La imagen de una compañía afecta a las ventas de un producto. La satisfacción del cliente repercute directamente en la imagen de la empresa y del producto o servicio que ofrece.
- **Responsabilidad del producto:** Los daños o lesiones derivados del uso de un producto defectuoso pueden derivar en responsabilidades para la empresa.

2.34 Garantías para equipos nuevos de las líneas agrícolas John Deere

Con el objetivo principal de cumplir los estándares de calidad dispuestos por distintas entidades como “ISO” y dar un valor agregado a todos sus productos John Deere ofrece a sus distintos clientes la seguridad de la operatividad de las maquinarias, otorgándoles garantía a todos sus productos en horas de trabajo y tiempo como se muestra en la figura 57.

El tractor agrícola del modelo 6603 cuenta con una garantía de 2000 horas o 36 meses en todos sus componentes que conforman la maquinaria.



Figura 57. Garantías de tractores agrícolas John Deere de fabricación Mexicanas (Deere & Company, 2019)

Capítulo III

Evaluación de las fallas que se originan en el eje de entrada de la Transmisión TSS

3.1 Recolección de la información

La recolección de información se realiza con una investigación de campo, es decir, con los propietarios de maquinarias agrícolas John Deere modelo 6603 y el personal técnico representante de la marca de maquinarias agrícolas.

3.2 Universo, población y muestra

El universo que se analiza son personas dueñas de maquinarias y técnicos de maquinarias agrícolas en la ciudad de Guayaquil, donde la población que se escoge son las personas que poseen maquinarias agrícolas modelo 6603 y técnicos que han realizado la atención técnica pertinentes por los malestares vividos en el sistema de embrague y transmisión TSS desde el año 2018 hasta la actualidad, para la cual la muestra que se toma para este estudio es de 36 personas, 28 clientes y 8 técnicos.

Para el cálculo de la muestra se consideran 60 maquinarias vendidas desde el año 2018 hasta la actualidad en la provincia del Guayas. Para lo cual se trabajará con un nivel de confianza del 95 % y un error de un 5 %, con esta muestra se pretende tener una máxima posibilidad de éxito o fracaso del 50 %.

Ecuación 1. Fórmula para cálculo de muestra

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{NE^2 + Z^2 p * q} \quad (1)$$

Donde:

Z= Nivel de confianza
 N= Tamaño de población
 p= Probabilidad a favor
 q= Probabilidad en contra
 E= Error de estimación muestral
 n= Tamaño de muestra

Datos:**n=?****Z= 95% (0.95)****N= 60****p= 0.5****q= 0.5****E= 5% (0.05)****Calculo de la muestra:**

$$n = \frac{(0.95)^2 * (0.5) * (0.5) * (60)}{(60)(0.05)^2 + (0.95)^2 * (0.5) * (0.5)} = 36$$

3.2.1 Encuesta

Para la obtención de información referente a este tema de investigación, se realizan encuestas con un total 10 preguntas, divididas en 2 secciones; 5 preguntas dirigidas a los usuarios de maquinarias agrícolas modelo 6603 y 5 preguntas dirigidas al personal técnico experimentado en este tipo de los problemas reportados. Con el objetivo de conocer la percepción que tiene los usuarios y técnicos, para realizar un mejor análisis de los problemas vividos. A continuación, se observa el modelo de la encuesta que va ser aplicado.



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

ENCUESTA DIRIGIDA A CLIENTES

Solícito muy comedidamente su colaboración para contestar la siguiente encuesta. Su opinión nos ayudará a la elaboración de este trabajo de investigación técnica, que está enfocado en **EVALUACIÓN DE LA FALLA DEL EJE MOTRIZ YZ91406 DE LA TRANSMISIÓN DEL TRACTOR AGRÍCOLA JOHN DEERE MODELO 6603.**

La información recopilada es confidencial y de absoluta reserva, únicamente para uso de la investigación. Por lo tanto, sírvase prescindir de identificación alguna.

1. ¿Ha experimentado problemas en el sistema de embrague y transmisión de su maquinaria?

SI

NO

Si su respuesta es sí, indique cuales han sido los síntomas. Puede marcar más de una opción.

- Fugas de aceite hidráulico por la caja del sistema de embrague.
- Ruido anormal en la parte interna del sistema de embrague.
- Problemas al seleccionar los cambios de velocidad.
- Falta de potencia de la maquinaria.

2. ¿Con cuantas horas de trabajo ha experimentado usted los inconvenientes en el sistema de embrague y transmisión?

Puede marcar más de un opción.

- 100 a 400 horas
- 400 a 700 horas
- 700 a 1200 horas

3. ¿Por qué cree usted que se generan fallas continuas en el sistema de embrague y transmisión?

Puede marcar más de un opción.

- Mala calidad del producto
- Falta de capacitación técnica al operador de la maquinaria
- Diseño incorrecto de los compontes internos
- Problemas de fabricación inicial

4. ¿Usted ha experimentado problemas en el sistema de embrague y transmisión en otras maquinarias agrícolas, con las mismas características técnicas?

Puede marcar más de una opción.

- Si
- No
- No tengo otra maquinaria agrícola

5. ¿En qué le perjudica a usted directamente los problemas que se presentan a menudo en el sistema de embrague y transmisión de fuerza de su maquinaria?

Puede marcar más de una opción.

- Pérdida de producción
- Pérdida de dinero

- Pérdida de tiempo



Gracias por su colaboración



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

ENCUESTA DIRIGIDA A TÉCNICOS

Solícito muy comedidamente su colaboración para contestar la siguiente encuesta. Su opinión nos ayudará a la elaboración de este trabajo de investigación técnica, que está enfocado en **EVALUACIÓN DE LA FALLA DEL EJE MOTRIZ YZ91406 DE LA TRANSMISIÓN DEL TRACTOR AGRÍCOLA JOHN DEERE MODELO 6603.**

La información recopilada es confidencial y de absoluta reserva, únicamente para uso de la investigación. Por lo tanto, sírvase prescindir de identificación alguna.

- 1. ¿Cree usted, que los problemas se generan por la operación incorrecta de las maquinarias?**

SI

NO

- 2. ¿Cree usted, que las fallas se originan por falta de mantenimiento preventivo?**

SI

NO

- 3. ¿Considera usted, si realizando los siguientes ajustes, ya no se producirán fallas frecuentes en el sistema de embrague y transmisión?**

Puede marcar más de un opción.

- Ajuste de holgura del pedal de embrague
- Ajuste de holgura de la palanca de la TDF

SI

NO

4. Técnicamente y según su experiencia. ¿Porque cree usted que se generan consecutivamente este tipo de fallas en el sistema de tren de fuerza de la maquinaria?

Puede marcar más de un opción.

- Falta de lubricación de los rodamientos YZ90831, YZ91404 de soporte del eje YZ91406.
- Ajuste inicial incorrecto entre el rodamiento YZ90831 y el eje YZ91406
- Mala calidad del material de fabricación de los rodamientos y eje la transmisión
- Problemas de diseño inicial del eje y los rodamientos

5. ¿Usted considera si realizando las siguientes modificaciones se solucionarían los problemas que habitualmente se originan en el sistema de embrague y transmisión?

Puede marcar más de un opción.

- Corrigiendo el ajuste entre el rodamiento YZ90831 y eje YZ91406
- Corrigiendo el ajuste entre el rodamiento YZ91404 y eje YZ91406
- Elaborando puntos de lubricación a los rodamientos YZ90831, YZ91404
- Mejorando el material de fabricación del eje de la transmisión YZ91404

SI

NO

Gracias por su colaboración

3.3 Tabulación

Mediante las encuestas realizadas, a los clientes dueños de maquinarias agrícolas John Deere 6603 y a los técnicos de servicios, se obtuvieron los siguientes resultados.

Encuestas realizadas a clientes dueños de maquinarias

1. ¿Ha experimentado problemas en el sistema de embrague y transmisión de su maquinaria?

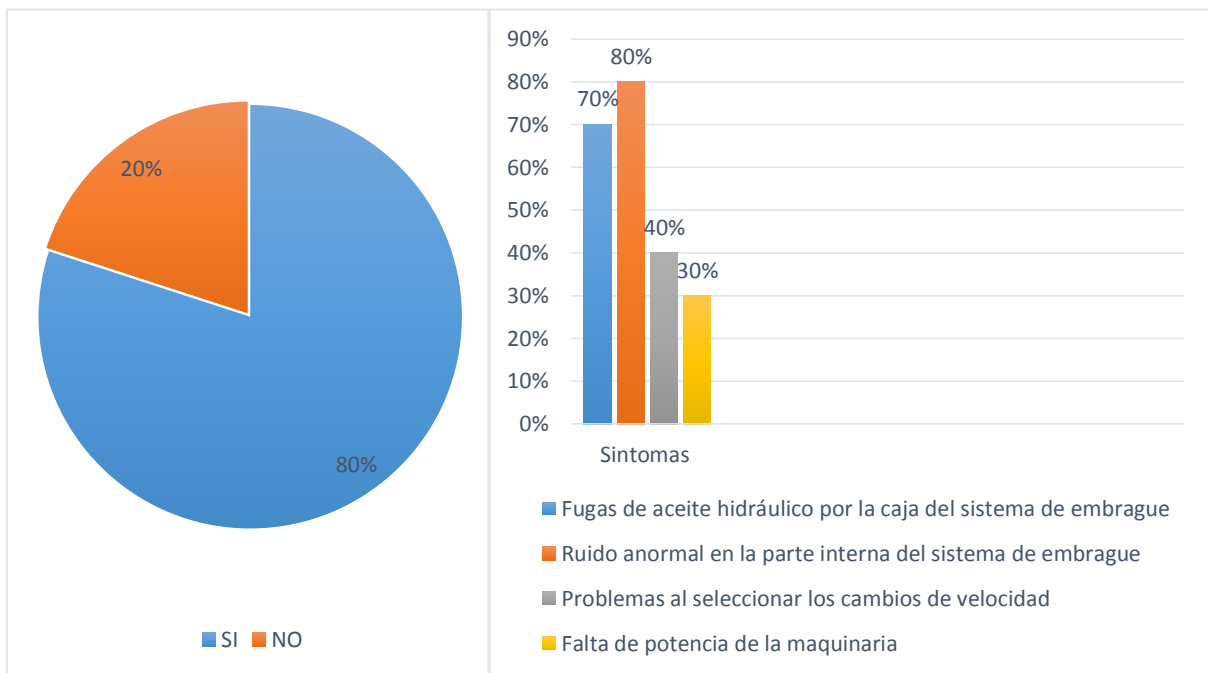


Figura 58. Resultados de la encuesta, pregunta 1 a clientes

Análisis e interpretación: El 80% de los clientes encuestados manifestaron que si han experimentado problemas en el sistema de embrague y transmisión de sus tractores agrícolas modelo 6603. La escala de los síntomas que generan las maquinarias agrícolas se encuentra clasificadas de mayor a menor donde el 80, 70, 40, 30% aseguran que han mantenido estos inconvenientes en sus equipos.

2. ¿Con cuantas horas de trabajo ha experimentado usted los inconvenientes en el sistema de embrague y transmisión?

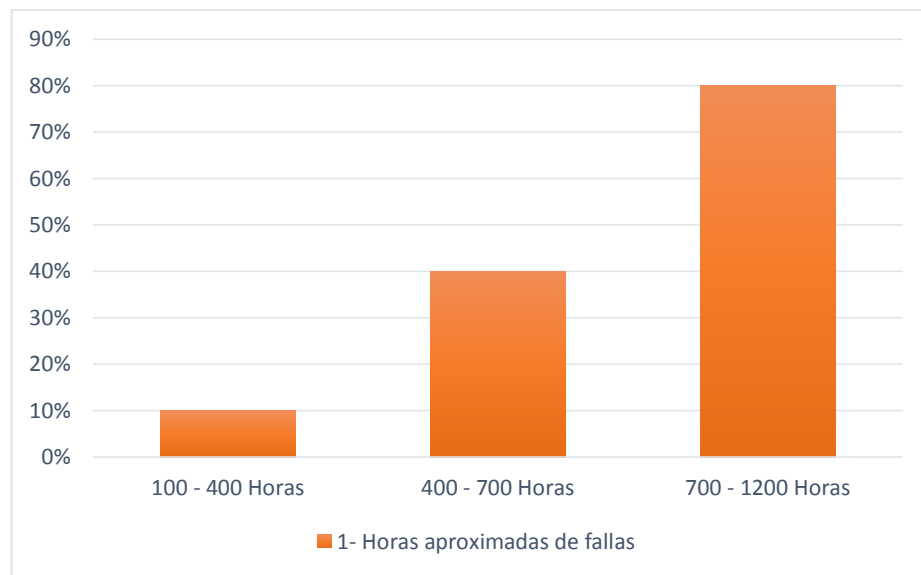


Figura 59. Resultados de la encuesta, pregunta 2 a clientes

Análisis e interpretación: La mayor parte de los encuestados, el 80% aseguraron que los problemas se dan entre las 700 a 1200 horas de trabajo. Mientras el 10 al 40% de los clientes encuestados manifestaron que los problemas inician desde las 100 a 400 horas de trabajo desde que la maquinaria es completamente nueva.

3. ¿Por qué cree usted que se generan fallas continuas en el sistema de embrague y transmisión?

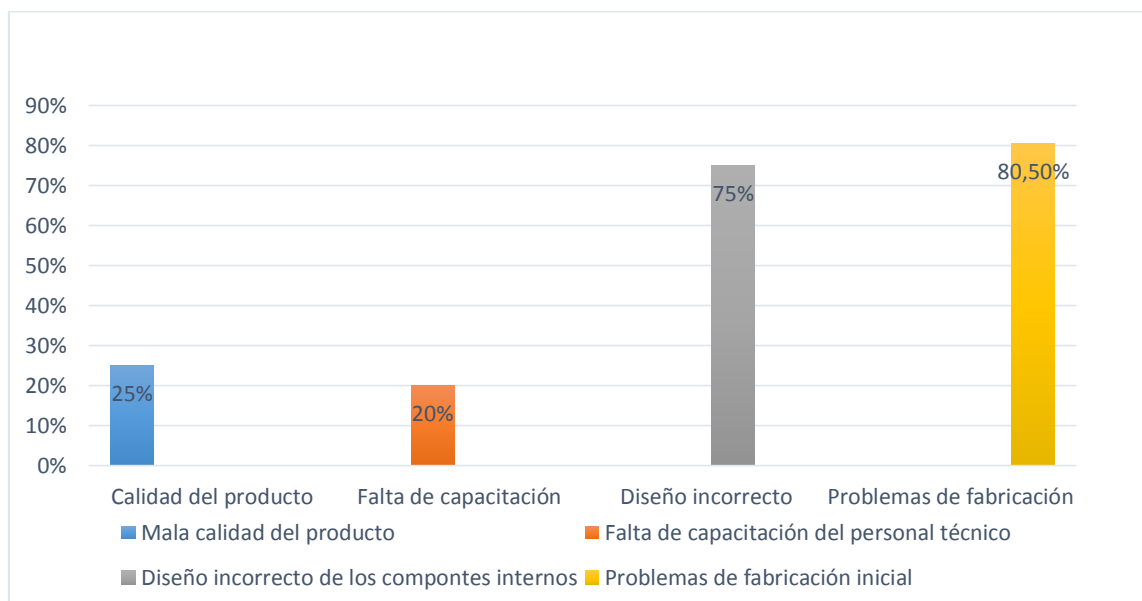


Figura 60. Resultados de la encuesta, pregunta 3 a clientes

Análisis e interpretación: Entre el 75 al 80,5% de los encuestados creen que las fallas se originan por problemas de diseño y fabricación de los elementos internos de la transmisión, solo el 20 al 25% creen que los problemas se originan por la falta de calidad del producto y falta de capacitación técnica.

4. ¿Usted ha experimentado problemas en el sistema de embrague y transmisión en otras maquinarias agrícolas, con las mismas características técnicas?

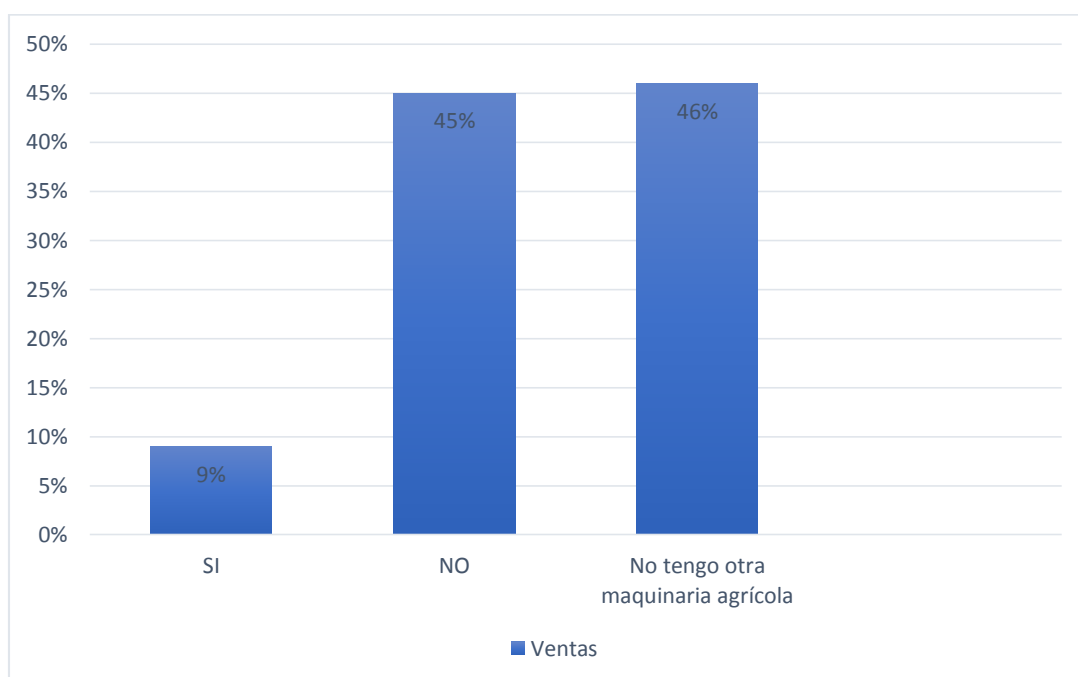


Figura 61. Resultados de la encuesta, pregunta 4 a clientes

Análisis e interpretación: Mediante la encuesta realizada solo en 9% de los dueños de maquinarias agrícolas han experimentado problemas similares en otros modelos de maquinaria con las mismas especificaciones técnicas. Mientras el 46% no tienen otras maquinarias y el 45% no han experimentado estas averías.

5. ¿En qué le perjudica a usted directamente los problemas que se presentan a menudo en este sistema?

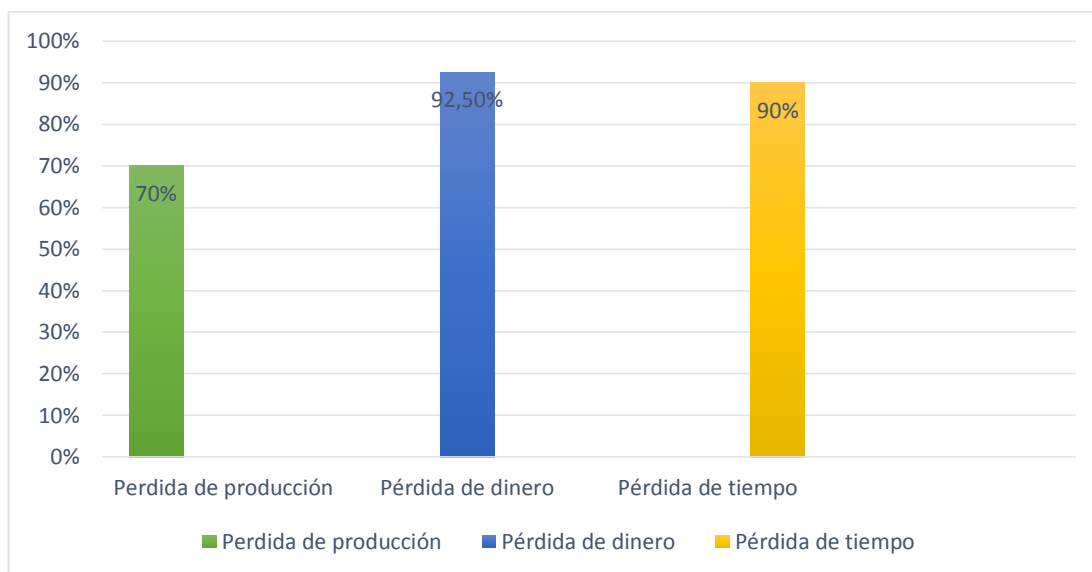


Figura 62. Resultados de la encuesta, pregunta 5 a clientes

Análisis e interpretación: El 70, 90, 92,50% de los encuestados se sienten inconformes por las averías prematuras que se originan en sus tractores modelo 6603, ya que esto originan pérdida considerables de; producción, tiempo y dinero.

Encuestas realizadas al personal técnico

1. ¿Cree usted que los problemas se generan por la operación incorrecta de las maquinarias?

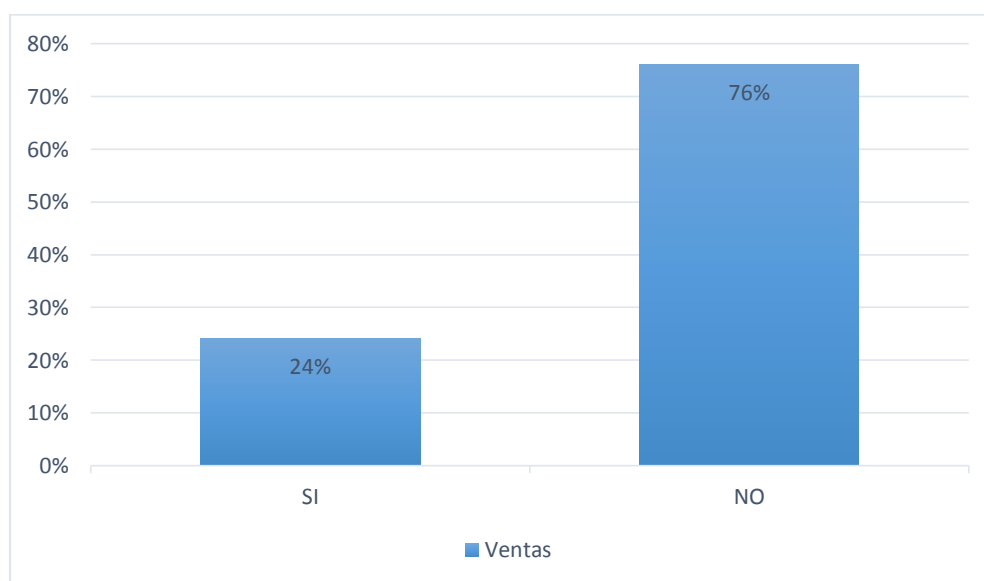


Figura 63. Resultados de la encuesta, pregunta 1 a técnicos

Análisis e interpretación: El 76% de los técnicos encuestados manifiestan que las averías no se producen por la operación incorrecta de las maquinarias. Solo el 24% creen que de alguna forma la operación incorrecta origina este tipo de inconvenientes.

2. ¿Cree usted que las fallas se originan por falta de mantenimiento preventivo en el área del sistema de embrague?

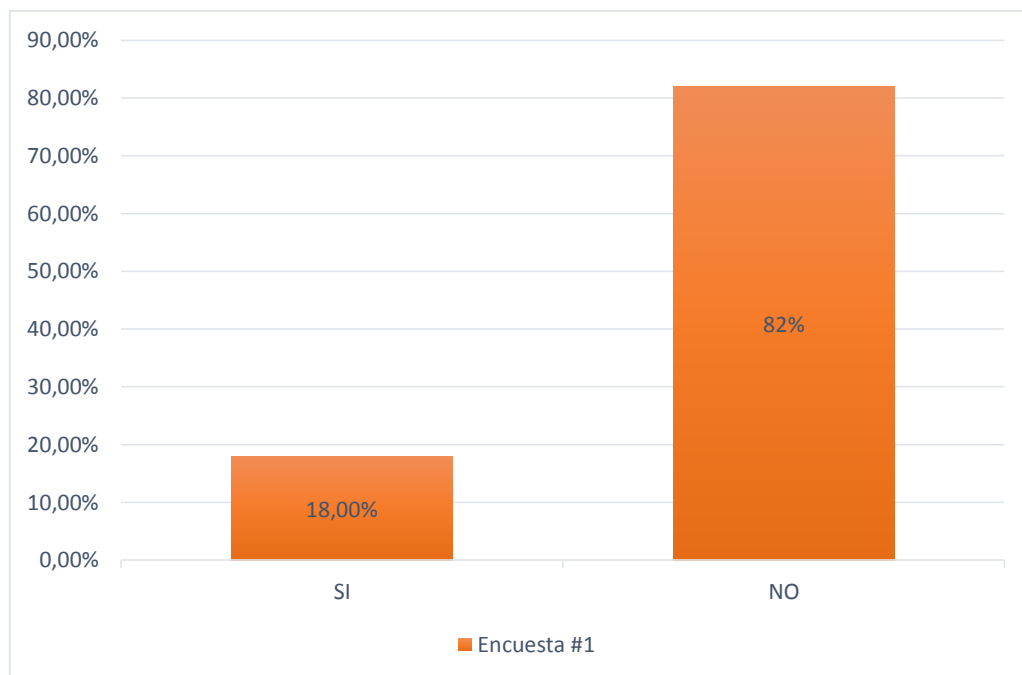


Figura 64. Resultados de la encuesta, pregunta 2 a técnicos

Análisis e interpretación: El 82% de los técnicos encuestados exponen que los problemas no se generan por la falta de mantenimiento preventivo, ya que a pesar de realizar los mantenimientos de forma adecuada tienden a originarse estos tipos de inconvenientes en este sistema. Solo el 18% mencionan que los clientes no realizan los mantenimientos preventivos de manera adecuada.

3. ¿Considera usted si realizando el ajuste de holguras del pedal de embrague y palanca de la TDF, ya no se producirían problemas en el eje y los rodamientos del sistema de embrague?

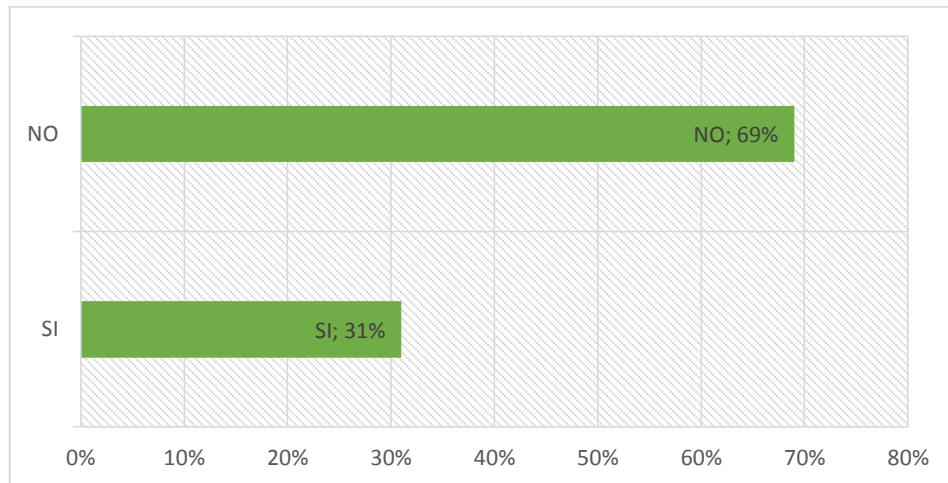


Figura 65. Resultados de la encuesta, pregunta 3 a técnicos

Análisis e interpretación: El 69% de los técnicos encuestados, opinan que a pesar de realizar los ajustes de holguras del pedal de embrague y la palanca de la TDF no resolverán los problemas comunes que se generan en el sistema de embrague y transmisión, mientras el 31% expresan que si ayudaran a evitar este tipo de problemas pero no las resolverá.

4. Técnicamente y según su experiencia. ¿Porque cree usted que se generan consecutivamente este tipo de fallas?

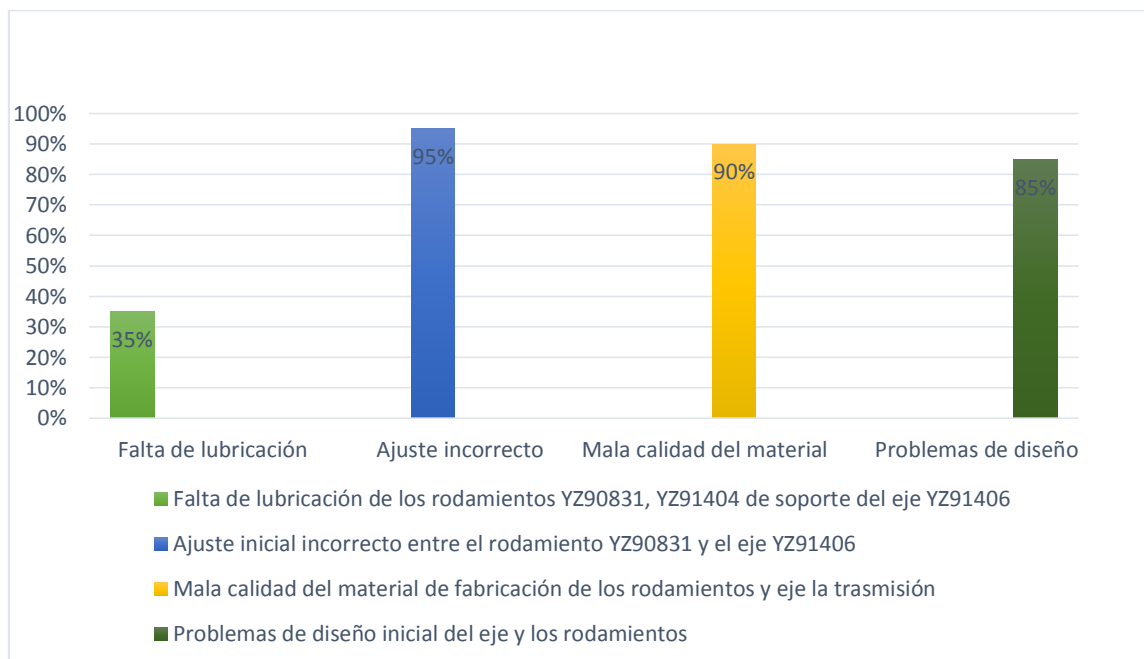


Figura 66. Resultados de la encuesta, pregunta 4 a técnicos

Análisis e interpretación: El 35% de los encuestados, consideran, que los problemas se originan por falta de lubricación de los rodamientos, mientras que el 95% aseguran con firmeza que los problemas se provocan por la falta de ajuste inicial entre el rodamiento YZ90831 y el eje YZ91406, también el 90% manifiestan que los inconvenientes se dan por la mala calidad del material de fabricación del eje, finalmente el 85% mencionan que los defectos se producen por problemas de diseño inicial de los rodamientos y el eje.

5. ¿Usted considera si realizando las siguientes modificaciones se solucionarían los problemas que habitualmente se originan en el sistema de embrague y transmisión?

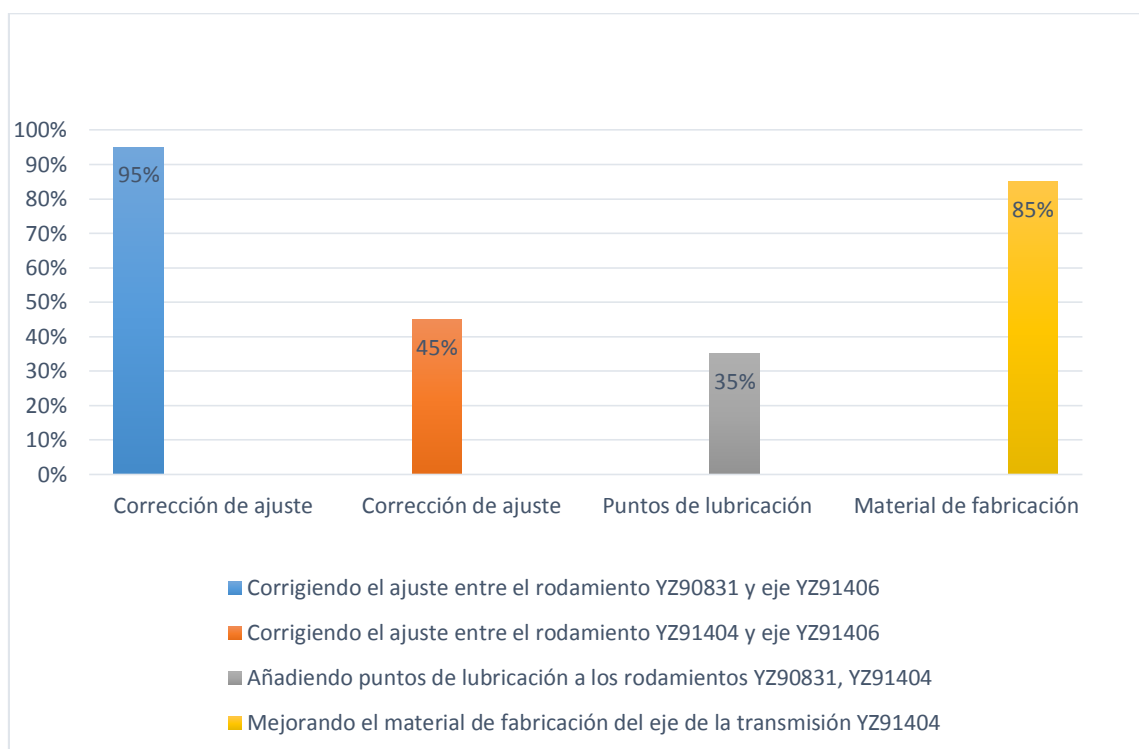


Figura 67. Resultados de la encuesta, pregunta 5 a técnicos

Análisis e interpretación: Mediante la encuesta técnica realizada a los técnicos de servicio, el 95% y 85% afirman que corrigiendo el ajuste del rodamiento YZ90831 y el eje YZ91406 y mejorando el material de fabricación del eje, se resolverán los problemas constantes que se generan en el sistema de embrague y transmisión, mientras que el 45%

consideran que el ajuste entre el rodamiento YZ91404 y el eje YZ91406 es normal, entretanto el 35% creen que diseñando puntos de lubricación a los rodamientos ayudaría también a prolongar la vida útil de los componentes internos del sistema de tren de fuerza.

Análisis general de las encuestas realizadas

A través de las encuestas realizadas, se obtuvo como resultados estadísticos que el 80% de los clientes tuvieron problemas frecuentes con pocas horas de trabajo de la maquinaria en el área del sistema de embrague y transmisión, afectando directamente a sus procesos de producción ocasionando pérdidas económicas. El 80% de los técnicos indican que este tipo de problemas se generan por inconvenientes de diseños iniciales entre los rodamientos y eje, evidenciando la falta de ajuste inicial entre estos dos componentes, por cual se originan averías de forma recurrente en este sistema.

3.4 Antecedentes del problema

Mediante el uso de herramientas de investigación, como la encuestas al cliente y a técnicos, se determinó que la mayor parte de los usuarios reportaban inconsistencias en sus maquinarias, del cual al realizar la asistencia técnica, las maquinarias agrícolas John Deere modelo 6603, mostraban problemas en el área de sistema de embrague y transmisión. Dada la situación los técnicos realizaron la inspección técnica interna del área afectada dando como resultado, que el eje de entrada de la transmisión TSS de las maquinarias, muestra fallas mecánicas de forma prematura en el área del eje de entrada YZ91406 de la transmisión TSS (transmisión sincronizada de eje superior) y rodamientos de apoyo, ocasionando así pérdidas monetarias y atrasos en su producción.

A continuación se presenta la tabla 15 y 16, del informe de referencia del año 2018 y 2019, de las fallas encontradas, basada en reportes de quejas de los clientes:

Tabla 15

Quejas de los clientes por fallas del eje YZ91406

# Series	Parte Averiadada	Fecha	Avería	Porcentaje
1P06XXXXXX62	YZ91406	31/08/2018	Desgaste de material	8,88%
1P06XXXXXX39	YZ91406	25/09/2018	Desgaste de material	8,92%
1P06XXXXXX75	YZ91406	13/11/2018	Desgaste de material	9,28%
1P06XXXXXX58	YZ91406	19/11/2018	Desgaste de material	9,28%
1P06XXXXXX60	YZ91406	22/11/2018	Desgaste de material	9,50%
1P06XXXXXX22	YZ91406	18/01/2019	Desgaste de material	9,46%
1P06XXXXXX63	YZ91406	13/02/2019	Desgaste de material	9,10%
1P06XXXXXX13	YZ91406	06/03/2019	Desgaste de material	5,24%
1P06XXXXXX20	YZ91406	12/04/2019	Desgaste de material	9,82%
1P06XXXXXX59	YZ91406	26/04/2019	Desgaste de material	10,68%
1P06XXXXXX63	YZ91406	22/05/2019	Desgaste de material	9,82%

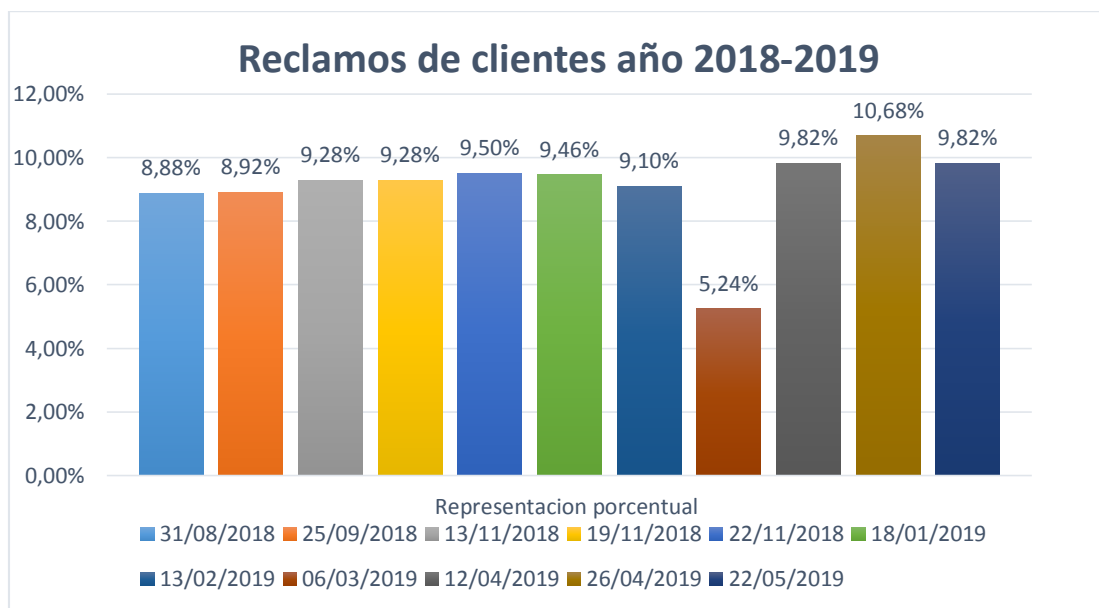


Figura 68. Reclamos de clientes por fallas del eje YZ91406, 2018 – 2019

En relación al problema detectado, a continuación se mostrará un reporte de reclamos de clientes en la falla de rodamientos de apoyo:

Tabla 16
Quejas de clientes por fallas de los rodamientos YZ90831, YZ91404

# Series	Parte Averjada	Fecha	Avería	Porcentaje
1P06XXXXX63	YZ90831	24/10/2018	Desgaste prematuro	5,02%
1P06XXXXX77	YZ91404	08/06/2018	Desgaste prematuro	16,15%
1P06XXXXX29	YZ90831	26/11/2018	Desgaste prematuro	12,27%
1P06XXXXX77	YZ90831	26/12/2018	Desgaste prematuro	14,26%
1P06XXXXX18	YZ90831	27/12/2018	Desgaste prematuro	5,57%
1P06XXXXX20	YZ91404	23/05/2018	Desgaste prematuro	15,49%
1P06XXXXX20	YZ91404	08/06/2018	Desgaste prematuro	17,97%
1P06XXXXX76	YZ90831	17/12/2018	Desgaste prematuro	13,26%

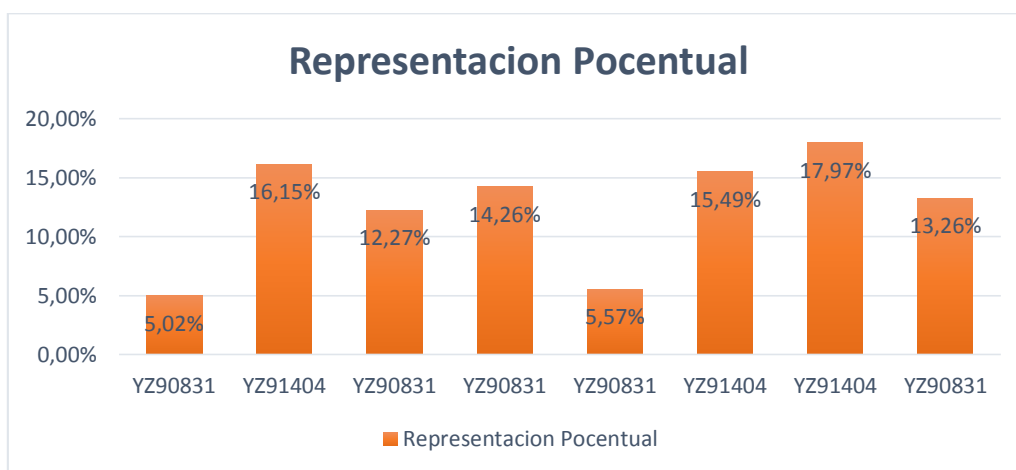


Figura 69. Falla de los rodamientos YZ90831, YZ91404, 2018-2019

3.4.1 Reclamación común del operador o cliente

Fuga de aceite hidráulico por caja del embrague y ruido anormal en el interior de la caja de embrague.

3.4.2 Síntomas que emite la maquinaria

- Ruido anormal en el interior de la caja del sistema de embrague
- Ruido anormal al embragar y desembragar
- No se pueden seleccionar las marchas correctamente
- Fuga abundante de aceite hidráulico/transmisión por la caja de embrague

3.4.3 Inspecciones técnicas realizadas por los problemas reportados

Para realizar la inspección técnica de forma correcta, por los problemas reportados por los distintos clientes, se realiza las indagaciones técnicas de manera interna de los elementos que conforman el sistema de embrague y transmisión, encontrando lo siguiente:

- Fuga de aceite hidráulico entre la caja de embrague y el motor por averías en los retenedores YZ91343, YZ91414 internos del sistema de embrague y transmisión como se observa en la figura 70 y 71.



Figura 70. Desarmado del tractor modelo 6603

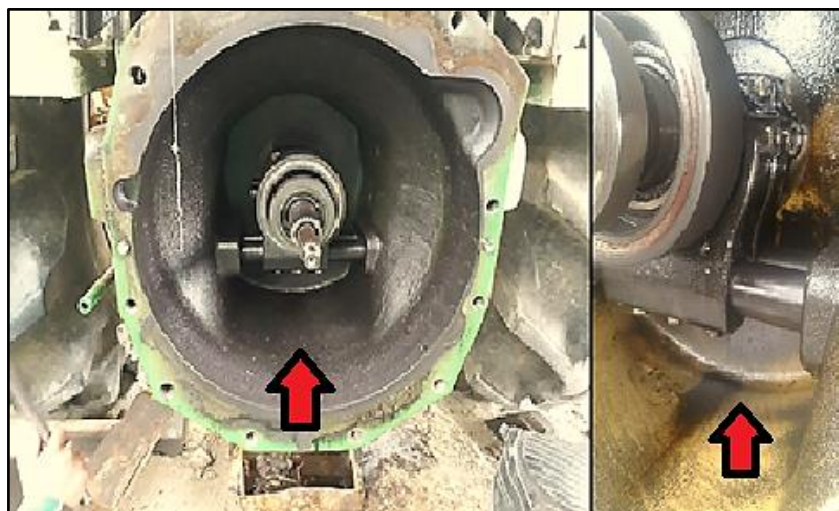


Figura 71. Fuga de aceite hidráulico por falla de retenedores internos

- Grupo selector de embrague YZ90717, YZ90718 y embrague YZ91038 averiados de forma discontinua, como se muestra en la figura 72.

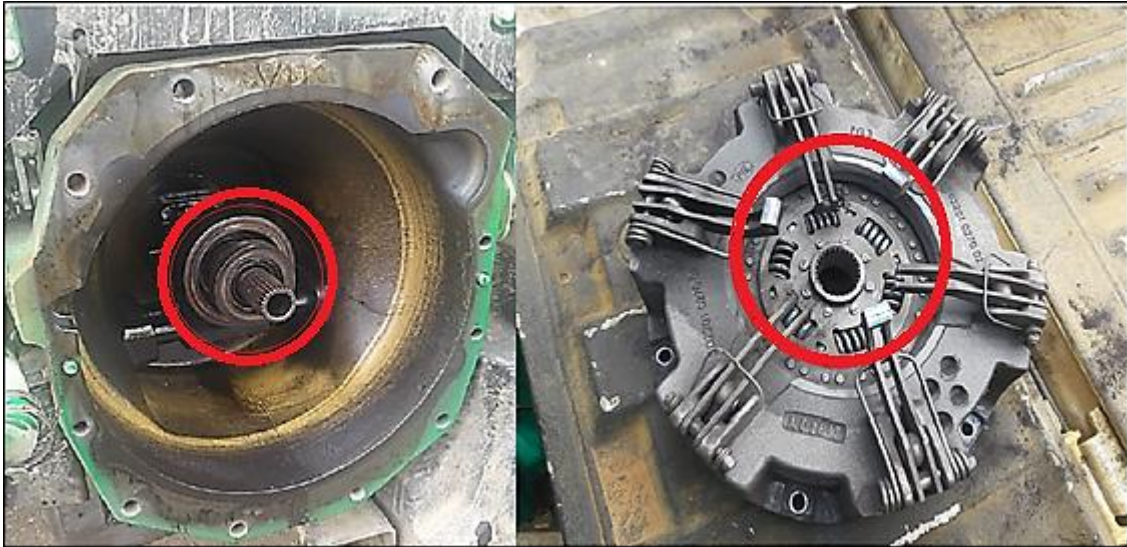


Figura 72. Averías en los manguitos de accionamiento y grupo de embrague

- La caja del sistema de embrague YZ91150 muestran desgastes fuera del rango de la tolerancia en los alojamientos de los rodamientos de apoyo YZ91404, YZ90831, se evidencian ovalamientos 2 mm a la redonda, como se observan en las figuras 73 y 74.

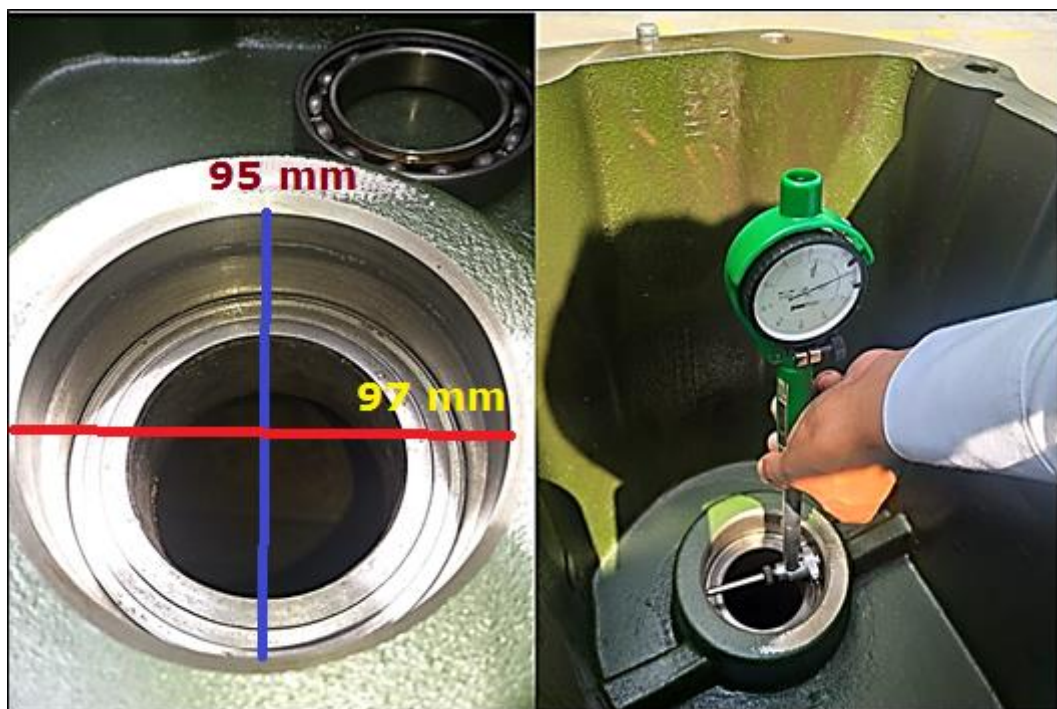


Figura 73. Ovalamiento en el alojamiento del rodamiento YZ91404



Figura 74. Ovalamiento en el alojamiento del rodamiento YZ90831

- Desgaste anormal en el eje de entrada de la transmisión YZ91406 como se identifica en las figuras 75 y 76.

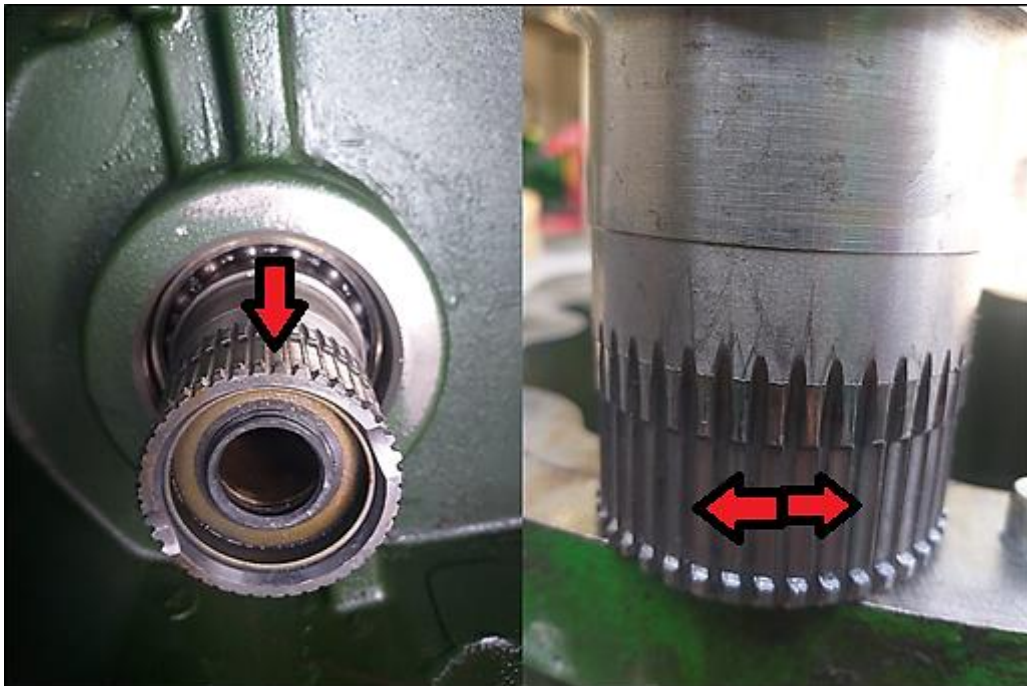


Figura 75. Desgastes anormal en el eje YZ91406 de la transmisión TSS



Figura 76. Puntos de averías del eje YZ9406 de la transmisión TSS

3.5 Análisis del ajuste entre eje y rodamiento

Para determinar si el ajuste entre los rodamientos y el eje es el adecuado de acuerdo a las características funcionales del eje de transmisión se determinará el diámetro idóneo del eje (en las zonas de acople con los rodamientos); en primer lugar siguiendo las recomendaciones de ajuste estipuladas por el fabricante del rodamiento; y en segundo lugar, en base a las recomendaciones de la norma ISO 286:2010 “*especificación geométrica del producto: sistema de código ISO para tolerancias en tamaños lineales*”, el análisis se lo realizará en las dos zonas del eje en las que se acoplan los rodamientos, para diferenciarlas han sido denotadas como; zonas de estudio A y B, figura 77. En la zona A se ajusta un rodamiento radial de esferas de serie 6009 RS, con diámetro exterior de 75 mm, diámetro interior de 45

mm, y 16 mm de espesor, clase 3; y en la zona B se acopla un rodamiento de serie 6012 RS, con diámetro exterior de 95 mm, diámetro interior de 60 mm y 18 mm de espesor, clase 3.

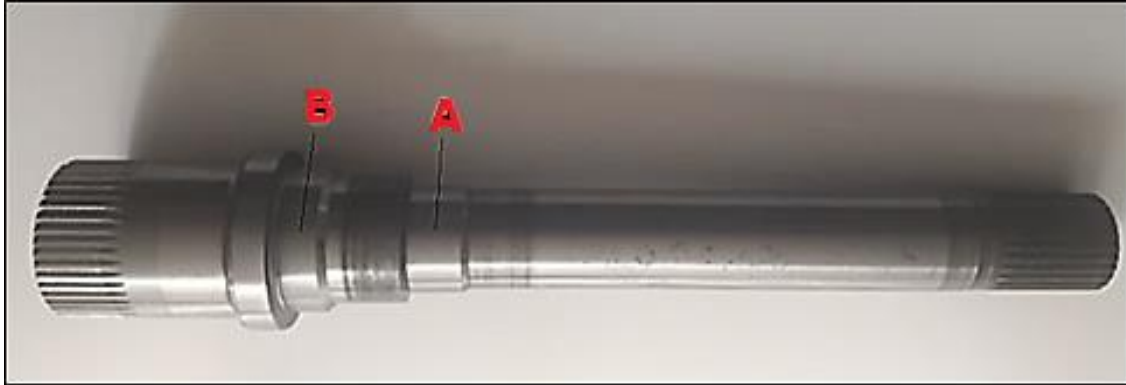


Figura 77. Eje YZ91406

Zonas en las que se realizará el cálculo de tamaño (diámetro) de los ejes – zonas de ajuste entre rodamiento y eje (zonas A y B).

3.6 Determinación del diámetro idóneo del eje, a través del procedimiento recomendado por el fabricante del rodamiento.

Para determinar el diámetro idóneo del eje en las zonas que acoplan con el rodamiento, a través del procedimiento recomendado por el fabricante del rodamiento, es necesario en primer lugar, fijar el ajuste idóneo de acuerdo con la aplicación que tendrá este elemento. De acuerdo al fabricante del rodamiento equipado, la tolerancia para un rodamiento de pista interna giratoria con diámetros nominales de 45 mm y 60 mm (casos de estudio), el margen de tolerancia medio debe estimarse a partir de la relación: $t=0.0005 \cdot D_n$ (tolerancia – diámetro nominal), considerando una desviación fundamental de 13 μm , como se muestra en la figura 78.

Bearing tolerance : class 3, class 0 ¹⁾								
Load type		Nominal outside diameter <i>d</i> mm (1/25.4)		Deviation of a single bore diameter Δ_{ds} , μm		Dimensional tolerance of shaft diameter μm		Remarks
		over	up to	upper	lower	upper	lower	
Rotating inner ring load	Spindles of precision machine tools	-	76.2 (3.0)	+13	0	+30	+18	Generally, bearing internal clearance should be larger than standard.
		76.2 (3.0)	304.8 (12.0)	+13	0	+30	+18	
		304.8 (12.0)	609.6 (24.0)	+25	0	+64	+38	
		609.6 (24.0)	914.4 (36.0)	+38	0	+102	+64	
	Heavy load Impact load High speed rotation	-	76.2 (3.0)	+13	0	Should be such that average interference stands at $0.0005 \times d$ (mm)		
		76.2 (3.0)	304.8 (12.0)	+13	0			
		304.8 (12.0)	609.6 (24.0)	+25	0			
		609.6 (24.0)	914.4 (36.0)	+38	0			
Rotating outer ring load	Spindles of precision machine tools	-	76.2 (3.0)	+13	0	+30	+18	
		76.2 (3.0)	304.8 (12.0)	+13	0	+30	+18	
		304.8 (12.0)	609.6 (24.0)	+25	0	+64	+38	
		609.6 (24.0)	914.4 (36.0)	+38	0	+102	+64	

Figura 78. Recomendación del fabricante (Koyo) para estimar las tolerancias de los ejes (Jtekt Corporation, 2019)

Tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante, se determinó el diámetro idóneo del eje en las zonas A y B (zonas de acople entre eje y rodamientos), las variables que intervienen en el estudio y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17 y 18.

Variables que intervienen y resultados del estudio de determinación del diámetro idóneo del eje en las zonas de ajuste con los rodamientos, siguiendo las recomendaciones del fabricante del rodamiento.

Tabla 17
Tolerancias de ajustes recomendado por el fabricante de rodamientos koyo.

Rodamiento	Dn (mm)	Dfmax (mm)	Dfmin (mm)	t (mm)=0.0005*Dn
A	45	0.013	0	0.022
B	60	0.013	0	0.030

Tabla 18
Diámetros ideales de las zonas A y B según el fabricante de rodamientos koyo.

Rodamiento	Dmax=Dn+Dfmax+t	Dmin=Dn+Dfmin
A	45.035 mm	45 mm
B	60.043	60 mm

En donde:

Dmax: Diámetro máximo permisible del eje

Dmin: Diámetro mínimo del eje

Dn: Diámetro nominal

Df: Diferencia fundamental

t: tolerancia

3.7 Determinación del diámetro idóneo del eje, a través del procedimiento recomendado en la norma ISO 286

3.7.1 Definición de la calidad de la tolerancia.

De acuerdo a la norma ISO 286:2010 “*especificación geométrica del producto: sistema de código ISO para tolerancias en tamaños lineales*”, las calidades de la tolerancia en elementos destinados a ajustar deben seleccionarse entre 5 y 12; de acuerdo al fabricante de los rodamientos de serie, la calidad de la tolerancia de acuerdo a las características operacionales del componente debe ser 6, y su posición k, figura 79.

Conditions ¹⁾	Ball bearing		Cylindrical roller bearing Tapered roller bearing		Spherical roller bearing		Class of shaft tolerance range	Remarks	Applications ^v (for reference)	
	Shaft diameter (mm)									
	over	up to	over	up to	over	up to				
Cylindrical bore bearing (classes 0, 6X, 6)										
Rotating inner ring load or indeterminate direction load	Light load or fluctuating load ($\frac{L_1}{L_2} \leq 0.05$)	-	18	-	-	-	-	h 5	For applications requiring high accuracy, js 5, k 5 and m 5 should be used in place of js 6, k 6 and m 6.	Electric appliances, machine tools, pumps, blowers, carriers etc.
		18	100	-	40	-	-	js 6		
		100	200	40	140	-	-	k 6		
		-	-	140	200	-	-	m 6		
	Normal load ($0.05 < \frac{L_1}{L_2} \leq 0.10$)	-	18	-	-	-	-	js 5	For single-row tapered roller bearings and angular contact ball bearings, k 5 and m 5 may be replaced by k 6 and m 6, because internal clearance reduction due to fit need not be considered.	Electric motors, turbines, internal combustion engines, woodworking machines etc.
		18	100	-	40	-	40	k 5		
		100	140	40	100	40	65	m 5		
		140	200	100	140	65	100	m 6		
-	-	200	400	140	280	p 6				
-	-	-	-	280	500	r 6				

Figura 79. Recomendación del fabricante (Koyo), para la selección de la calidad y posición de la tolerancia del eje (Jtekt Corporation, 2019)

3.7.2 Definición de la posición de la tolerancia.

Para la definición de la posición de la tolerancia en un sistema de análisis de agujero base, para el acople de rodamientos normalizados en el eje, se deben seleccionar posiciones para la tolerancia que garanticen el ajuste del elemento, así las posiciones posibles serán desde la js hasta la zc, figura 80. De acuerdo a las recomendaciones del fabricante del rodamiento de serie equipado en el sistema de estudio, la posición de la tolerancia recomendada es la “k” (Figura 79).

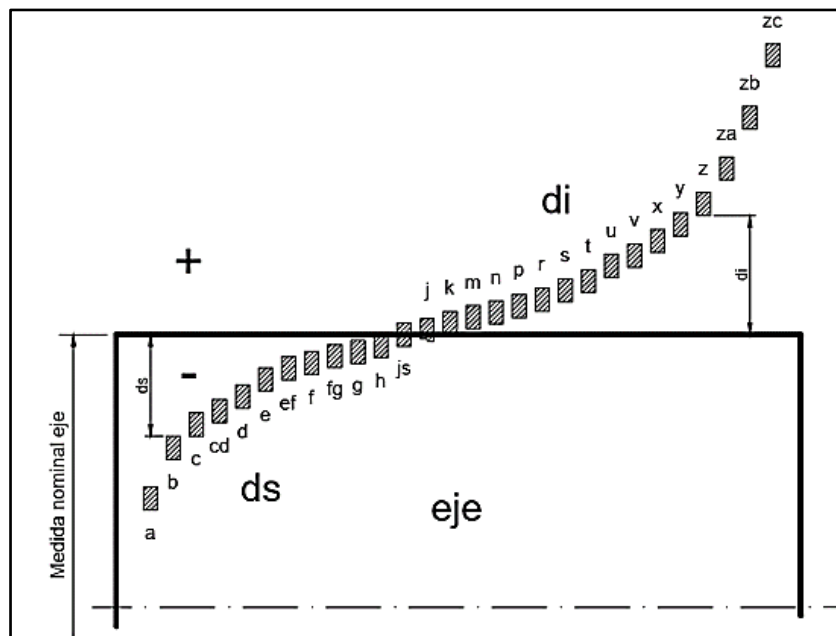


Figura 80. Posiciones normalizadas de la tolerancia en ejes (UNE, 2013)

Una vez determinada la calidad y la posición de la tolerancia ISO recomendada por el fabricante del rodamiento de serie, es posible determinar el tamaño idóneo del eje, para ello, utilizando la figura 81, se fijará la tolerancia en función del diámetro nominal del eje, para el rodamiento A, $D_n = 45$ mm, y para el rodamiento B, $D_n = 60$ mm; así la tolerancia recomendada es $IT = 0.016$ mm, y 0.019 mm, respectivamente.

Tablas Tolerancias.

CALIDADES μm
(1000 μm = 1 mm)

Grado Tolerancia Diámetro (mm.)	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
$d \leq 3$	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
$3 < d \leq 6$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
$6 < d \leq 10$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
$10 < d \leq 18$	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
$18 < d \leq 30$	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
$30 < d \leq 50$	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
$50 < d \leq 80$	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
$80 < d \leq 120$	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
$120 < d \leq 180$	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
$180 < d \leq 250$	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
$250 < d \leq 315$	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
$500 < d \leq 630$			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
$630 < d \leq 800$			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
$800 < d \leq 1000$			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3300	5600	9000	14000
$1000 < d \leq 1250$			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
$1250 < d \leq 1600$			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
$1600 < d \leq 2000$			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
$2000 < d \leq 2500$			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
$2500 < d \leq 3150$			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000
		Muy alta precisión	Equipos metrología y piezas de gran precisión					Piezas o elementos que han de ajustar					Superficies libres							

Figura 81. Tolerancia (μm) recomendada por la norma ISO 286 en función del diámetro nominal del eje, y de la calidad de la tolerancia (Coban Engineering, 2019)

Para determinar la diferencia fundamental de la posición de la tolerancia (k), en función del diámetro nominal del eje (zona A: $D_n = 45 \text{ mm}$, y zona B: $D_n = 60 \text{ mm}$), se utiliza la tabla 19; así la diferencia fundamental para los rodamientos A y B, es $D_f = 2 \mu\text{m}$.

Diferencia fundamental	Desviación inferior d_i																	
	j		k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
Calidad	IT5 IT6	IT7	IT8	$4 \leq IT \leq 7$	$IT < 4$ $IT > 7$	Todas las calidades												
$d \leq 3$	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	+18	+20	+26	+32	+40	+60		
$3 < d \leq 6$	-2	-4	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	+23	+28	+35	+42	+50	+80			
$6 < d \leq 10$	-2	-5	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	+28	+34	+42	+52	+67	+97			
$10 < d \leq 14$	-3	-6	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	+33	+39	+45	+60	+77	+108	+150		
$14 < d \leq 18$																		
$18 < d \leq 24$	-4	-8	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
$24 < d \leq 30$																		
$30 < d \leq 40$	-5	-10	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
$40 < d \leq 50$																		
$50 < d \leq 65$	-7	-12	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
$65 < d \leq 80$																		
$80 < d \leq 100$	-9	-15	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
$100 < d \leq 120$																		
$120 < d \leq 140$	-11	-18	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
$140 < d \leq 160$																		
$160 < d \leq 180$								+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
								+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000

Figura 82. Diferencias fundamentales recomendadas por la norma ISO 286:2010 en función del diámetro nominal del eje y la posición de la tolerancia (Coban Engineering, 2019)

Así el diámetro máximo y mínimo del eje en las zonas de acople con los rodamientos A y B, y el resumen de variables requeridas se muestra en la tabla 20.

VARIABLES QUE INTERVIENEN Y RESULTADOS DEL ESTUDIO DE DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO IDÓNEO DEL EJE EN LAS ZONAS DE AJUSTE CON LOS RODAMIENTOS, TABLA 19 Y 20, SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE DEL RODAMIENTO.

Tabla 19

Tolerancias de ajustes recomendados por las normas ISO 286:2010

Rodamiento	Dn (mm)	Df(mm)	t (mm)
A	45	0.002	0.016
B	60	0.002	0.019

Tabla 20

Tolerancias de diámetros admisibles por las normas ISO 286:2010

Rodamiento	Dmax=Dn+Df+t	Dmin=Dn+Df
A	45.018 mm	45.002 mm
B	60.021	60.002 mm

En donde:

Dmax: Diámetro máximo permisible del eje

Dmin: Diámetro mínimo del eje

Dn: Diámetro nominal

Df: Diferencia fundamental

t: tolerancia

3.8 Medición de diámetros del eje en la zona de ajuste con rodamientos.

Utilizando un micrómetro, previamente calibrado a través del respectivo patrón, figura 83 y siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 10012 “Sistemas de gestión de la medición, requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”, se determinó

los diámetros del eje en las zonas de acople con los rodamientos A y B, figura 84 y 85 (tabla 21).



Figura 83. Proceso de calibración del micrómetro a través del patrón de medida (a 20°C)



Figura 84. Mediciones efectuadas en el eje en las zonas de contacto con los rodamientos A



Figura 85. Mediciones efectuadas en el eje en las zonas de contacto con los rodamientos B

Tabla 21
Dimensiones del eje en las zonas de acople con los rodamientos

Zonas de acople entre eje y rodamientos	Medición obtenida del diámetro
A	44.982 mm
B	60.002 mm

3.9 Análisis del ajuste de rodamientos en el eje.

Una vez determinado el ajuste idóneo de los rodamientos en el eje, siguiendo tanto las recomendaciones del fabricante del rodamiento, así como las directrices de la norma ISO 286: 2010, y luego de realizar el proceso de medición de los diámetros del eje de estudio (eje nuevo), es posible evaluar el estado funcional de este elemento, la tabla 22 muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 22
Resumen de resultados

Zona de estudio	Diámetro permisible para el eje de acuerdo a las recomendaciones del fabricante	Diámetro permisible para el eje de acuerdo a las directrices de la norma ISO 286: 2010	Diámetro del eje (medición efectuada con micrómetro)
A	45 - 45.035 mm	45.002-45.018 mm	44.982 mm
B	60 - 60.043 mm	60.002 – 60.021 mm	60.002 mm

De acuerdo a estos resultados el rodamiento en la zona de estudio A, presenta un huelgo de 0.018 mm; en vez de un apriete mínimo de 0.002 mm, lo cual representa una falla potencial cuyo modo de fallo será inevitablemente el deslizamiento del eje sobre la pista del rodamiento. Mientras que en la zona de estudio B, el rodamiento tiene un apriete de 0.002 mm, cumpliendo al límite el criterio de ajuste mínimo requerido para este elemento.

Para entender de mejor manera los efectos que puede ocasionar esta falla potencial, a continuación se presenta un estudio del desempeño mecánico del eje de transmisión, el cual

se realizó utilizando el programa de ingeniería asistida por computador “*Altair® hyperworks®, v.2017 spII*”

3.10 Estudio de las prestaciones mecánicas del eje de transmisión y de los efectos potenciales del modo de fallo “*deslizamiento del eje sobre la pista del rodamiento*”

3.10.1 Modelo de estudio.

Para realizar el estudio de prestaciones mecánicas del eje de transmisión y de los efectos potenciales del modo de fallo “*deslizamiento del eje sobre la pista del rodamiento*”, en primer lugar es necesario representar el eje de transmisión en un modelo CAD, el cual servirá como punto de partida para la estructuración del dominio computacional, por ello se prestó atención a todos los detalles tanto, de diseño como de manufactura, que podrían tener influencia en el resultado de la simulación. La figura 86 muestra una captura del modelo CAD en tres dimensiones que se utilizó para la delimitación geométrica del dominio computacional, el mismo que fue modelado en el programa “*Solidworks® 2018 sp I*”.

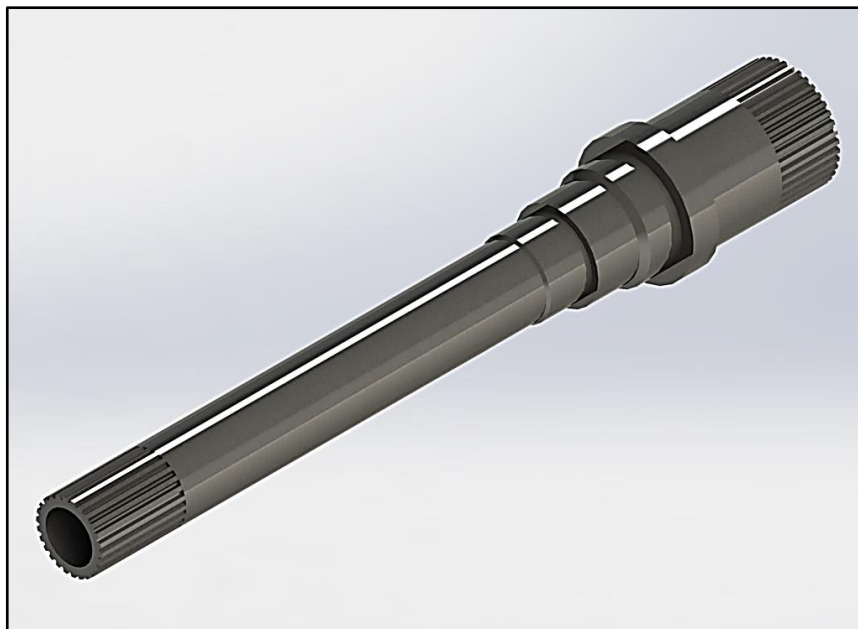


Figura 86. Modelo CAD tridimensional utilizado para la delimitación geométrica del dominio computacional

3.10.2 Discretización del dominio computacional.

A partir del modelo CAD tridimensional, (importado al programa hypermesh® en un formato CAD neutro, como lo es el formato. Igs), es necesario realizar la discretización (mallado) del componente. Dadas las características geométricas de este elemento se optó por utilizar elementos sólidos tetraédricos, con un tamaño inicial de 4 mm, con refinamiento con elementos de hasta 0.4 mm en las zonas de mayor gradiente de esfuerzos, y en zonas geométricas complejas; el dominio contiene en total 407638 elementos sólidos. La figura 87 muestra el dominio computacional que se utilizó en el estudio de prestaciones mecánicas del eje de transmisión.

Para validar el modelo discretizado, es indispensable además verificar la calidad de los elementos estructurados, a partir del análisis de sus propiedades más importantes. La tabla 23 muestra el resumen del análisis de la calidad de los elementos (407638) de este dominio.

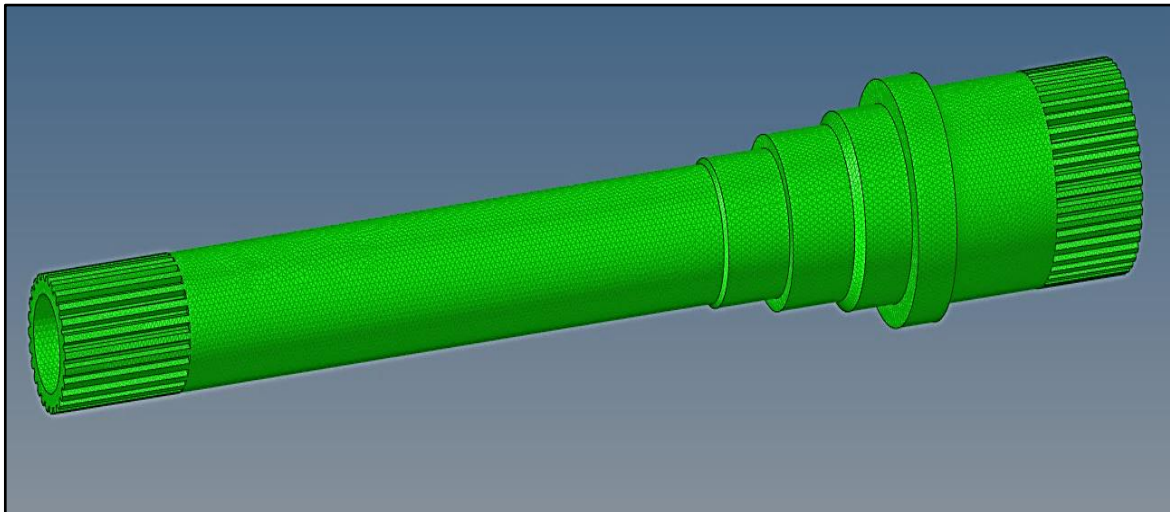


Figura 87. Discretización del dominio computacional (mallado), del modelo de estudio

Tabla 23
Resumen del análisis de calidad de los elementos del dominio computacional discretizado

Factor de calidad estudiado	Criterio de calidad	Cantidad de elementos fuera de rango	Representación porcentual (%)
Factor de Alabeo	5	0	0
Factor de aspecto	5	0	0
Sesgo	60	70	0
Error cuadrático medio	0.1	0	0
Factor de aplastamiento	0.9	0	0
Factor Jacobiano	0.7	0	0
Sesgo (igualación)	0.9	0	0
Sesgo (volumen)	0.95	2	0
Vol AR	5	30	0

El análisis de calidad de los elementos que forman el modelo computacional discreto, permite abalar el espécimen utilizado.

3.10.3 Propiedades del material y condiciones de frontera.

Para la simulación computacional del desempeño mecánico del componente, es necesario alimentar el modelo con las propiedades del material del que está manufacturado, normalmente los ejes de transmisión utilizados en equipo agrícola y caminero se manufacturan en acero AISI 4340, hipótesis que fue corroborada al efectuar pruebas de dureza superficial (anexos) sobre diferentes partes del eje (dureza media de 637 Vickers). Las propiedades del material que sirvieron para alimentar el modelo computacional se muestran en la tabla 24.

Tabla 24
Propiedades del acero AISI 4340

Propiedades del acero AISI 4340	
Módulo de elasticidad	211 GPa
Densidad	7850 kg/m ³
Coefficiente de Poisson	0.3
Límite de cedencia	1915 MPa
Elongación	10%
Dureza Vickers	639

La tabla 24 muestra las propiedades generales del acero AISI 4340 (MatWeb, 2019)

Las condiciones de frontera contempladas para el estudio del desempeño mecánico difieren para cada caso de carga, las mismas que se muestran en la tabla 25.

Tabla 25
Condiciones de frontera para cada caso de carga contemplado en el estudio de prestaciones mecánicas del eje de transmisión

Caso de carga	Apoyos	Cargas
Esfuerzo – deformación durante operación normal	Rodamientos: restricción de movimiento en direcciones radiales al eje. Apoyo fijo en el extremo conducido del eje	Torque máximo transmitido por el motor a través del eje en su extremo conductor. Peso propio del eje.
Esfuerzo deformación durante operación con falta de ajuste en el rodamiento de la zona A	Rodamiento en zona A: restricción de desplazamiento en el eje Y, y desplazamiento de 0.009 mm en el eje X Rodamiento en zona B: restricción de movimiento en direcciones radiales al eje. Apoyo fijo en el extremo conducido del eje.	Torque máximo transmitido por el motor a través del eje, en su extremo conductor. Peso propio del eje.
Análisis de velocidades críticas del eje	Rodamientos: restricción de movimiento en direcciones radiales al eje.	Peso del eje

El torque máximo que entrega el motor es de 475 Nm.

3.11 Análisis de resultados del estudio estático - estructural:

3.11.1 Transmisión de potencia (funcionamiento normal)

Durante la transmisión del máximo torque del motor (475 Nm), el eje de transmisión experimentará una deformación – torsional de 0.12 mm, el cual se presenta en el extremo conductor, figura 88, y soportará un esfuerzo equivalente (Von Misses) máximo de 121.6 Mpa,, en los extremos de la sección más angosta del eje figura 89.

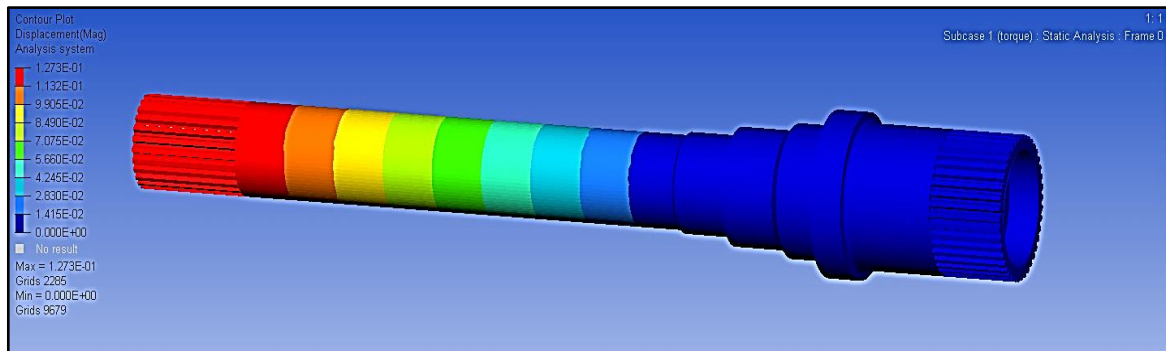


Figura 88. Contorno de deformación máxima del eje de transmisión.-Caso de carga: transmisión normal de potencia

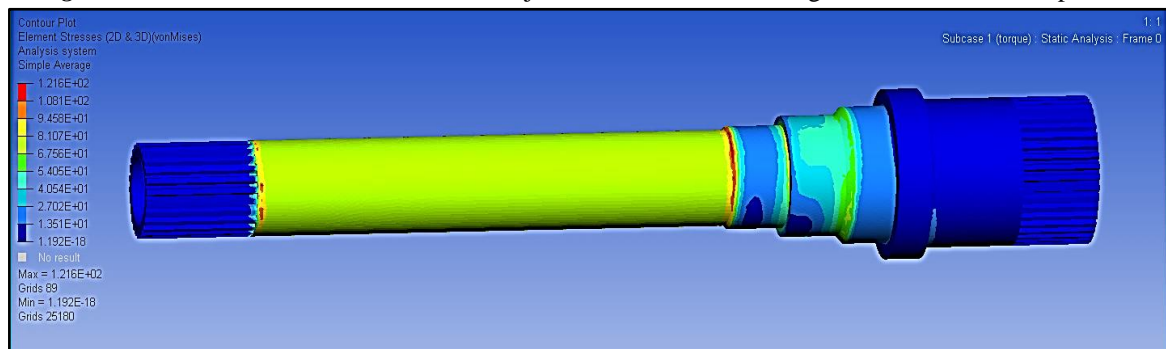


Figura 89. Contorno de esfuerzos equivalentes (Von Mises) en el eje de transmisión.-Caso de carga: Transmisión normal de potencia

Considerando que el límite de fluencia del material es de 1470 Mpa, el factor de seguridad estimado para este caso de carga, es de 12.04. Sin embargo, es importante mencionar que el factor de seguridad disminuirá si se considera la fatiga de este elemento.

3.11.2 Transmisión de potencia, con huelgo en el apoyo del rodamiento en la zona de estudio A

Para estudiar el efecto del huelgo entre el rodamiento y el eje en la zona de estudio A, se aplicó un desplazamiento de 0.009 mm en la dirección del eje X, en los nodos utilizados para la imposición de restricción de movimiento; así en un análisis estático se representará el efecto de la falta de ajuste entre rodamiento y eje en esta zona. En el estudio de deformación figura 90, se aprecia una deformación máxima de 0.19 mm, en el extremo conductor del eje.

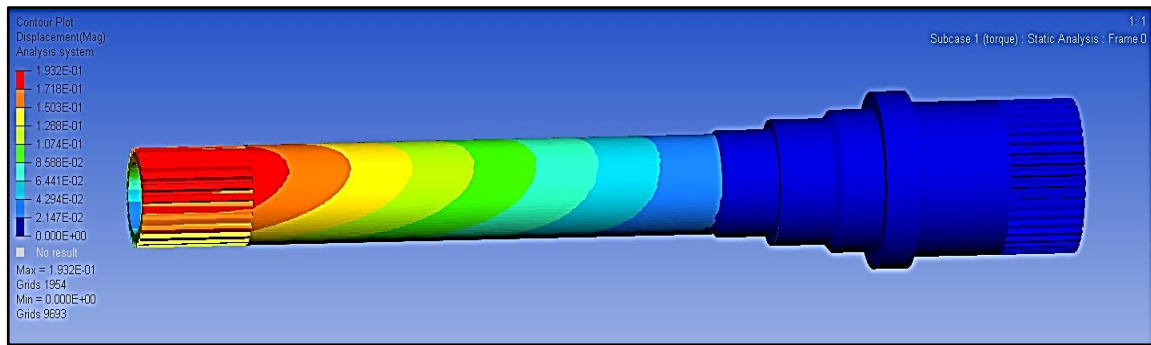


Figura 90. Contorno de deformación máxima del eje de transmisión.-Caso de carga: transmisión de potencia y huelgo en el apoyo del rodamiento en la zona de estudio A

La figura 91, muestra el contorno del esfuerzo máximo equivalente (Von Mises), que soporta el eje, al transmitir la máxima potencia y al considerar la falta de ajuste entre el rodamiento y el eje en la zona de estudio A, se observa un esfuerzo máximo de 159.1 MPa.

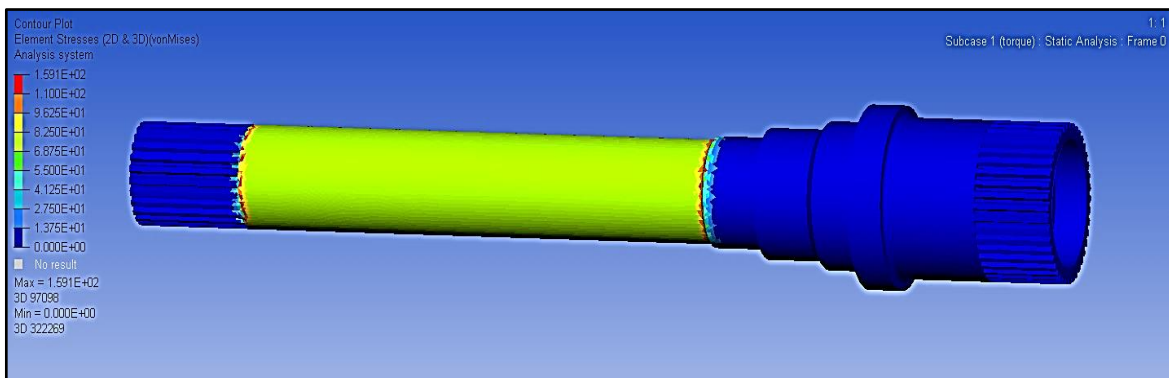


Figura 91. Contorno de esfuerzos equivalentes (Von Mises) en el eje de transmisión.-Caso de carga: transmisión de potencia y huelgo en el apoyo del rodamiento en la zona de estudio A

3.11.3 Análisis de los resultados.

Las características funcionales del eje de transmisión hacen que este soporte de forma directa esfuerzos cortantes torsionales que se originan durante la transmisión del par del motor hacia la caja de cambios, adicionalmente soporta esfuerzos flexionantes debido a la carga que ocasiona su propio peso; por ello una forma conveniente de analizar la combinación de esfuerzos es a través de la valoración del esfuerzo equivalente de Von Mises. En el primer caso de carga, en el que se analiza el desempeño mecánico del eje de transmisión, suponiendo que los rodamientos están correctamente ajustados sobre el eje, el esfuerzo máximo de Von Mises alcanza los 121.6 Mpa, y la deformación torsional el eje

representada en el plano transversal alcanza 0.12 mm. En el segundo caso de carga, se simula el desempeño mecánico del eje de transmisión, bajo condiciones de operación similares, sin embargo ahora se incluye un desplazamiento de 0.009 mm en los nodos en los que se aplicó la restricción de movimiento en sentido radial al giro del eje, esto para caracterizar la falta de ajuste que se presenta en esta zona, así el esfuerzo máximo equivalente de Von Mises alcanza una magnitud de 159.1 Mpa, y la deformación torsional representada en el plano transversal al eje, alcanza 0.19 mm. De acuerdo a los resultados obtenidos la falta de ajuste del rodamiento en la zona de estudio, ocasiona un incremento porcentual en el esfuerzo equivalente de Von Mises del 24.84 %, y así también un incremento del 38.33 % en la deformación angular del eje de transmisión. Cabe acotar que durante la operación del eje de transmisión, el ajuste se irá incrementando, ya que el eje se deslizará sobre la pista interior del rodamiento, incrementando el huelgo entre estos dos componentes, así también se irá incrementando el esfuerzo y la deformación de este componente. Por otro lado es importante considerar que cualquier excitación adicional que resulte de un funcionamiento anormal del eje, influirá sobre su comportamiento rotodinámico, por lo que resulta de mucho interés conocer las velocidades críticas del eje, y si las perturbaciones cíclicas de esta falla potencial podrían generar fallas por resonancia en el eje; a continuación se presenta el análisis modal del eje.

3.12 Análisis modal del eje de transmisión

Todos los ejes, aun sin la presencia de cargas externas, se deforman durante la rotación. La magnitud de la deformación depende de la rigidez del eje y de sus soportes, de la masa total del eje, del desequilibrio de la masa con respecto al eje de rotación y del amortiguamiento presente en el sistema. La deformación, considerada como una función de la velocidad de

giro del eje, presenta sus valores máximos en las llamadas velocidades críticas, en las cuales el eje presentará resonancia.

En este estudio se realizó la simulación computacional de las velocidades críticas del eje de rotación, en dos casos de estudio, el primero considerando la transmisión normal de la potencia máxima del motor, y en el segundo agregando un desplazamiento de 0.009 mm en el eje en la zona de acople con el rodamiento A. Los resultados de las simulaciones se muestran en las figuras 92 y 93.

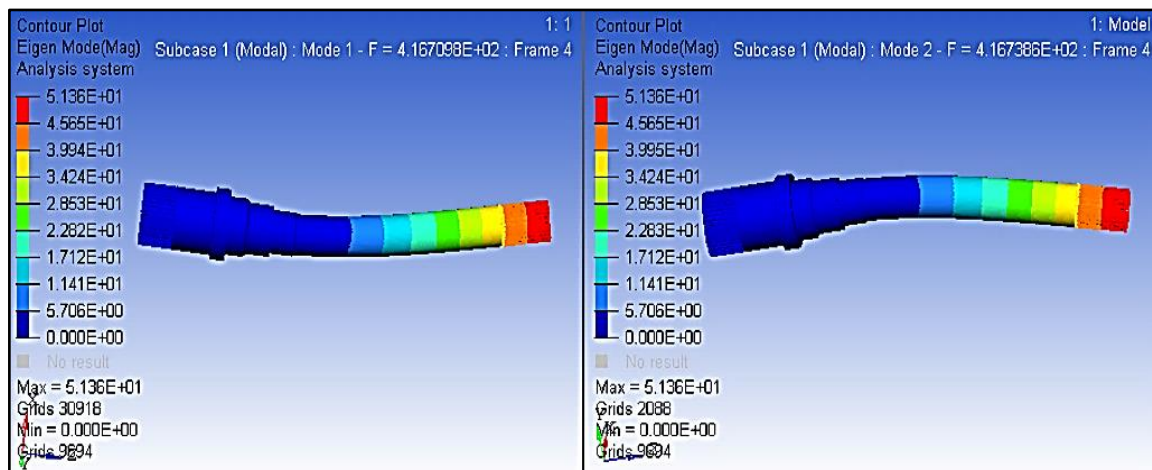


Figura 92. Primeros dos modos de vibración del eje, desplazamientos a 100x. Casos de carga: Transmisión máxima de la potencia del motor

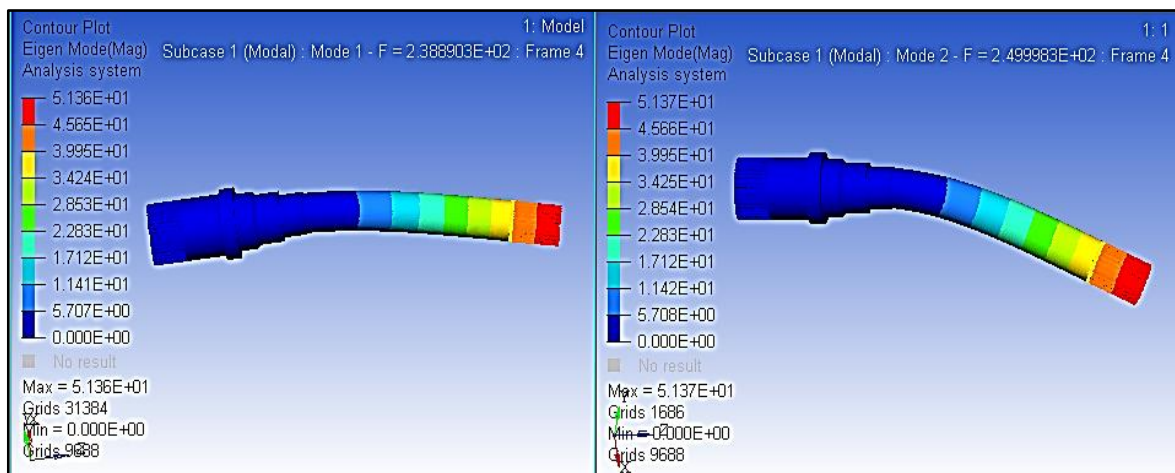


Figura 93. Primeros dos modos de vibración del eje, desplazamientos a 100x

Casos de carga: Transmisión máxima de la potencia del motor y desplazamiento de 0.009 mm en la zona de ajuste con el rodamiento A.

3.12.1 Análisis de resultados del análisis modal

Para el primer caso de carga (transmisión de la potencia máxima del motor a través del eje, cuando este se encuentra firmemente apoyado en los rodamientos), las dos primeras velocidades críticas se presentan a los 416.7 Hz (25000 RPM), la oscilación produce desplazamiento en el extremo conductor del eje (acople con el disco de embrague). En cambio, en el segundo caso de carga (transmisión de potencia máxima del motor a través del eje, considerando un desplazamiento de 0.009 mm en la zona de ajuste con el rodamiento A), se observa que las primeras dos velocidades críticas del eje se presentan a 239 y 250 Hz, (14340 y 15000 RPM), respectivamente; la oscilación de igual forma, produce desplazamiento en el extremo conductor del eje (acople con el disco de embrague). Con estos resultados se observa que la falta de ajuste en el eje disminuye en un 42.6 % la velocidad del eje para la primera velocidad crítica, y en un 40 % para la segunda velocidad crítica del eje; en otras palabras el efecto que produce la falta de ajuste del rodamiento en la zona A, incide directamente sobre el comportamiento roto dinámico del eje; el desplazamiento en esta zona ocasiona desbalanceo de eje, y por ello disminución en el tiempo de vida del rodamiento B, así como deterioro de los extremos estriados, los cuales podrían presentar a la larga, una falla funcional.

La figura 94, muestra en el diagrama de Campbell las velocidades críticas del eje en cada simulación, y la figura 95 muestra en el diagrama de Campbell las componentes armónicas de la velocidad sincrónica del eje.

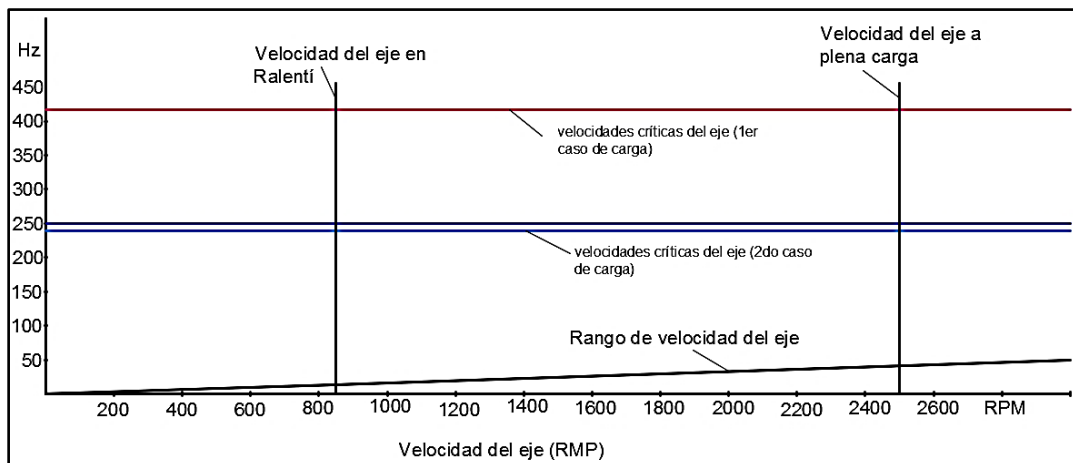


Figura 94. Diagrama de Campbell, se observan las velocidades críticas del eje, dentro del rango de velocidad del eje

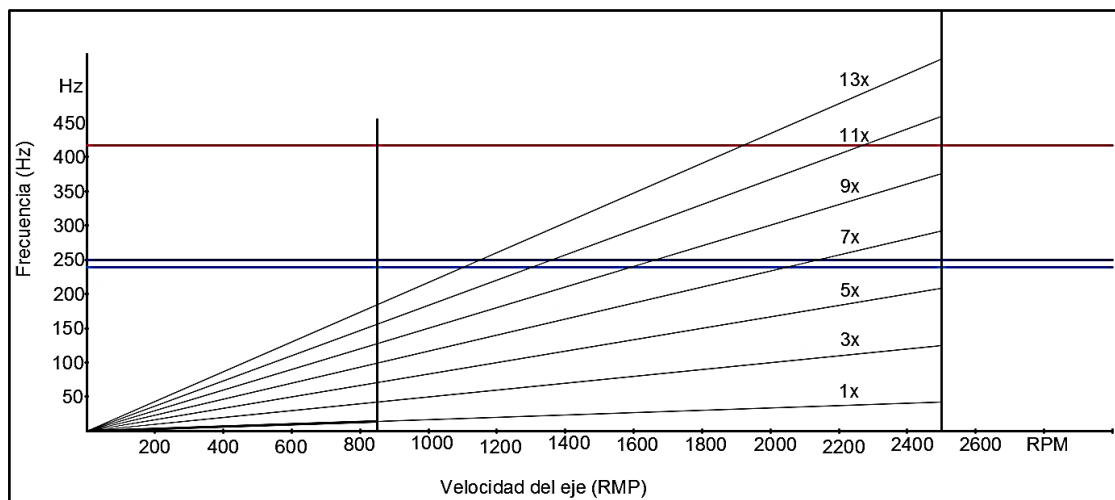


Figura 95. Diagrama de Campbell, se observan las velocidades críticas del eje, dentro del rango de velocidad del eje, y las componentes armónicas de la velocidad sincrónica

Al analizar las vibraciones en el espectro, el desbalanceo del eje presentará un incremento en la señal sincrónica, y en órdenes de 2 al 4; de acuerdo a la figura 95, la falta de ajuste del rodamiento a 0.009 mm ocasionará un incremento en la amplitud de la vibración, por debajo de las primeras dos velocidades críticas del eje, sin embargo vale la pena acotar, que de presentarse una mayor holgura, la probabilidad de resonancia es latente.

Considerando que el rodamiento que se acopla al eje en la zona B, presentará deterioro debido al desbalanceo del eje, los tonos que este produce incrementarán en amplitud, y podrían llegar a excitar al eje en órdenes que van de 9x a 13x (White, 2010, pág. 112); si esta

situación llega a presentarse, el eje tienen una alta probabilidad de resonar en velocidades que van desde aproximadamente 1100 RPM hasta las revoluciones máximas del motor.

3.13 Efectos del rozamiento entre eje y pista del rodamiento

La falta de ajuste que se presenta entre el rodamiento y el eje en la zona A, ocasiona el deslizamiento del eje sobre la pista del rodamiento, por ello se genera un aporte de calor debido a la fricción cinética entre estos dos componentes; para entender de mejor forma los efectos que ocasiona este fenómeno, se realizó la simulación computacional en estado estacionario de transferencia de calor. Para ello es necesario definir en primer lugar el aporte de calor que ocasiona la fricción.

3.13.1 Aporte de calor que genera el deslizamiento del eje sobre la pista del rodamiento.

El análisis del principio de conservación de la energía para un sistema cerrado permite encontrar una correlación directa entre la tasa de calor que se disipa a través del eje como consecuencia del rozamiento cinético seco que se produce en la interface entre rodamiento y eje; así la tasa de calor disipada será igual a la potencia mecánica disipada por la fricción (ecuación 2).

Ecuación 2. Calculo de aporte de calor que se conduce al eje debido a la fricción

$$\dot{Q} = \frac{f\omega}{a} \quad (2)$$

Q: es la tasa de aporte de calor que se conduce al eje debido a la fricción (W/m²)

f: Fuerza de fricción que se produce entre el eje y la pista del rodamiento (N)

w: velocidad angular del eje (rad/s)

a: es la longitud de la superficie de contacto entre el eje y la pista del rodamiento (m)

Para estimar la fuerza de fricción, es necesario en primer lugar estimar la reacción normal en el punto A; ya que el centro de masa del eje está precisamente en la zona de ajuste con el rodamiento

La figura 96, punto A, presenta la reacción normal en este punto es equivalente al peso del eje, el cual es de 42.48 N ya que la masa del eje es de 4.33 kg (figura 97).

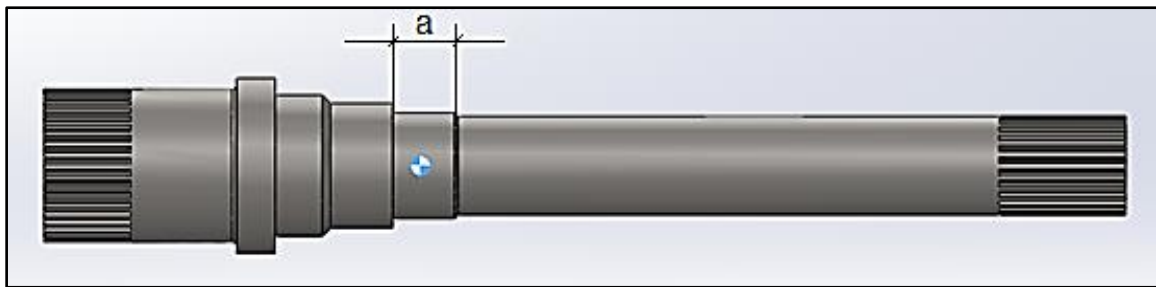


Figura 96. Ubicación del centro de masa del eje

Así también, para calcular la fuerza de fricción es necesario estimar el coeficiente de fricción entre el eje y la pista del rodamiento, en este caso se utilizará un coeficiente de fricción cinético de 0.57 (Serway ; Jewett, Jr., 2008), por ello la fuerza de fricción (tangente al eje en el punto de contacto con la pista del rodamiento) estimada corresponde al producto de la Normal y el coeficiente de rozamiento, y en este caso corresponde a 24.21 N.



Figura 97. Medición de la masa del eje a través de la balanza electrónica

Con estos datos, y considerando que el eje gira a una velocidad angular máxima de 1800 RPM (4.775 rad/s), y que la longitud de la zona de contacto es de 25 mm, se estima que se genera una tasa de aporte de calor de 4624.11 W/m^2 .

Por otro lado se debe considerar que el eje está en contacto con el aire, ello disipará calor por convección, en este caso se utilizará un coeficiente de película de $7.9 \text{ w/m}^2\cdot\text{K}$ (engineeringtoolbox.com).

A partir de estas consideraciones, se realizó la simulación computacional de la transferencia de calor en estado estacionario, para ello se utilizó el programa Ansys® workbench R19.1, el contorno de temperatura (equilibrio térmico) se muestra en la figura 98. Así la temperatura máxima que podría alcanzar el eje es de $70.16 \text{ }^\circ\text{C}$ (zona de aporte de calor), la temperatura mínima llegaría a los $42 \text{ }^\circ\text{C}$, y la temperatura promedio del eje sería de $54.8 \text{ }^\circ\text{C}$.

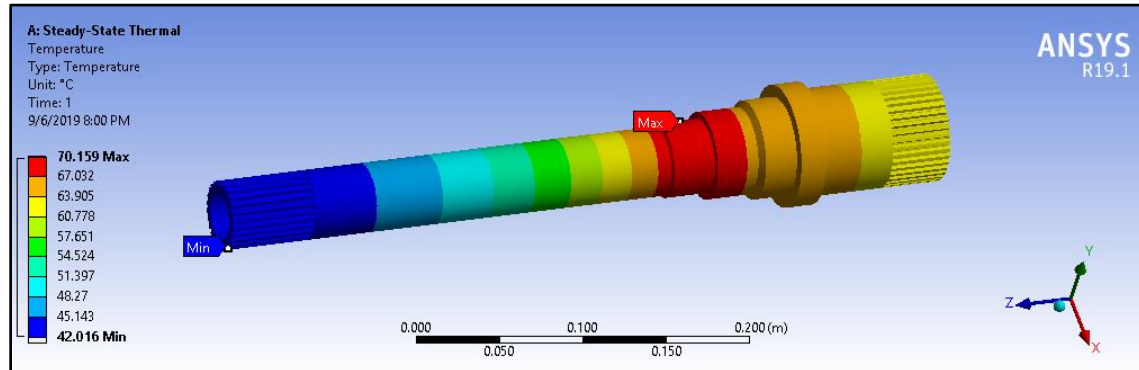


Figura 98. Contorno de distribución de temperatura en el eje (equilibrio térmico)

Por otro lado, la figura 99 muestra la distribución de flujo de calor, el cual alcanza su magnitud máxima (16592 W/m^2), en el desahogo adyacente a la zona de generación de calor, y el flujo de calor mínimo alcanza una magnitud de 15.37 W/m^2 , en los extremos del eje.

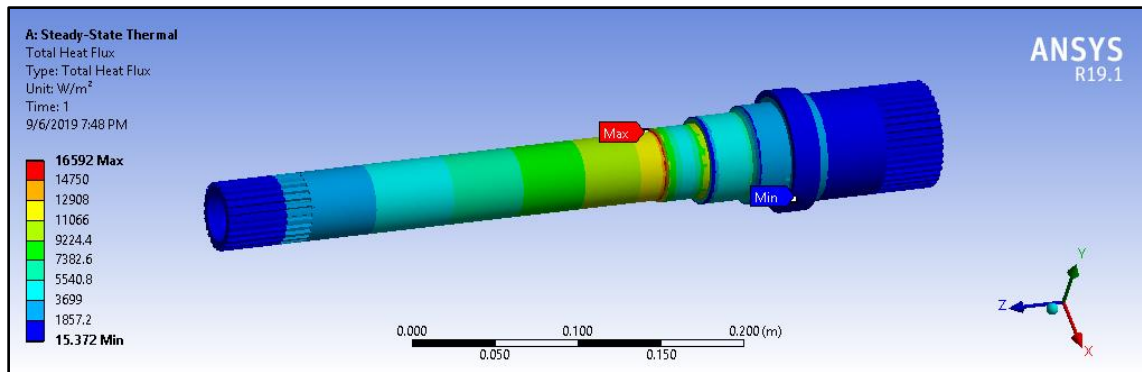


Figura 99. Contorno de distribución del flujo de calor a través del eje (equilibrio térmico)

Los resultados mostrados muestran que la temperatura que podría alcanzar el eje ocasionará efectos colaterales sobre los rodamientos y sobre los retenedores, los cuales podrían llegar a presentar averías.

Capítulo IV

Propuesta de soluciones para la falla del eje motriz YZ91406 de la Transmisión del tractor agrícola John Deere modelo 6603

A partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico técnico, presentados en el capítulo III. La falta de ajuste que se presenta entre el eje de transmisión y el rodamiento en la zona denominada como “A”, representa una falla funcional que incrementa los esfuerzos de diseño del eje, aumenta la probabilidad de resonancia, y además produce incremento de su temperatura, por ello es necesario encontrar alternativas que permitan corregir este problema.

Evidentemente la principal alternativa técnica a recomendar para solucionar las averías constantes que se originan en el sistema de transmisión de fuerza de la maquinaria agrícola, será la remanufactura del eje YZ91406, considerando los ajustes adecuados entre los rodamientos; sin embargo debido a la necesidad inmediata de presentar una solución técnica viables se analizarán a continuación dos alternativas que vienen utilizándose en procesos de mantenimiento de maquinaria, en primer lugar se diseñará un anillo de acople intermedio entre el eje y el rodamiento, y en segundo lugar se definirá el proceso de aporte de material por fusión para luego re mecanizar el eje.

4.1 Diseño de un buje de acople intermedio entre eje y rodamiento

Con el fin de evaluar las diferentes alternativas para solucionar la falta de ajuste que existe entre el rodamiento y el eje en la zona denominada “A”, se evaluará la posibilidad de acoplar entre el eje y rodamiento un cilindro intermedio, el cual deberá ajustarse con apriete tanto en el acople con el rodamiento, como en el acople con el eje; las características funcionales de este elemento, hacen que soporte cargas de tensión en las dos superficies de acople, por ello es necesario en primer lugar determinar la presión que se ejerce en cada superficie de acople.

4.1.1 Presión entre el cilindro intermedio y el eje.

Para calcular la tensión que se produce en el acople entre el cilindro intermedio y el eje, es necesario en primer lugar definir las dimensiones de estos dos elementos, el ajuste ISO recomendado para esta aplicación es un ajuste N7/h5 (N7 para el agujero y h5 para el eje), en el que el diámetro del eje es mayor que del agujero. Tal y como se explicó en el capítulo anterior, la estimación de las dimensiones de superficies cilíndricas que deben ajustar se realiza en base a los criterios estipulados en la norma ISO 286, la tabla 26 muestra las dimensiones que debe tener tanto el eje como el cilindro intermedio. Adicionalmente hay que considerar que el diámetro actual del eje en la zona de acople con el rodamiento es de aproximadamente 45 mm, por ello es necesario en primer lugar disminuir el diámetro en esta zona (a través del proceso de torneado), de otra manera esta alternativa de solución no sería posible.

Tabla 26
Estimación de dimensiones del eje y del agujero del cilindro interpuesto

Elemento	Dn (mm)	Df(mm)	t (mm)	Diámetro máximo (mm)	Diámetro mínimo en mm	Apriete máximo (mm)	Apriete mínimo (mm)
Eje	42	0	0.011	42.011	42	0.116	0.08 mm
Agujero del cilindro intermedio	42	-0.08	0.025	41.895	41.92		

A partir de las dimensiones estimadas, es posible calcular la presión que ejerce el eje sobre el cilindro interpuesto en la zona de contacto, para ello se empleará la fórmula 3. (Reyes, 2016, pág. 27)

Ecuación 3. Calculo para determinar la presión por la superficie de contacto

$$p_{c_1} = \frac{A_{pr}}{d_c \left[\frac{d_o^2 - d_i^2}{E_i(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{d_o^2 + d_c^2}{E_o(d_o^2 - d_c^2)} - \frac{V_i}{E_i} + \frac{V_o}{E_o} \right]} \quad (3)$$

En donde:

Pc: Es la presión que se genera en el acople entre el eje y el cilindro intermedio

Apr: Es el apriete máximo = 0.116 mm

di: Es el diámetro interior del eje = 32 mm

dc: Es el diámetro exterior del eje = 42.011 mm

do: Es el diámetro exterior del cilindro intermedio = 45.018 mm

Vi: Es el coeficiente de poisson del cilindro intermedio = 0.33

Vo: Es el coeficiente de Poisson del eje = 0.33

Eo: Es el módulo de elasticidad del eje = 210 GPa

Ei: Es el módulo de elasticidad del cilindro intermedio = 210 GPa

Al reemplazar los valores en la fórmula 3 se obtiene una presión de: 36.6 MPa

4.1.2 Presión entre el cilindro intermedio y el rodamiento.

Una vez conocidas las dimensiones del cilindro intermedio, de igual forma se puede utilizar la ecuación 4, para estimar la presión que soportará el cilindro intermedio en la superficie exterior debido al acople del rodamiento, a partir de la ecuación 4. (Reyes, 2016, pág. 47)

Ecuación 4. Calculo de presión entre el cilindro intermedio y el rodamiento

$$p_{c_2} = \frac{A_{pr}}{d_c \left[\frac{d_o^2}{E_i(d_c^2)} + \frac{d_o^2 + d_c^2}{E_o(d_o^2 - d_c^2)} - \frac{V_i}{E_i} + \frac{V_o}{E_o} \right]} \quad (4)$$

P_{c2} : Es la presión que genera el rodamiento sobre el cilindro intermedio

A_{pr} : Es el apriete máximo = 0.018 mm

d_c : Es el diámetro exterior del cilindro intermedio = 45.018 mm

d_o : Es el diámetro exterior del rodamiento = 75 mm

ν_i : Es el coeficiente de poisson del rodamiento = 0.3

ν_o : Es el coeficiente de Poisson del eje = 0.33

E_o : Es el módulo de elasticidad del eje = 210 GPa

E_i : Es el módulo de elasticidad del rodamiento = 72 GPa

Al reemplazar los valores en la fórmula 4, se obtiene una presión de: 17.025 MPa

4.1.3 Análisis de esfuerzos en el buje intermedio.

Para estimar los esfuerzos que soporta el cilindro intermedio, se realizó una simulación computacional de ingeniería asistida por ordenador, para ello se embazó este componente de acuerdo a las dimensiones definidas en el apartado 4.1.2. La figura 100, muestra el dominio computacional estructurado para esta simulación, el cual contiene 24305 elementos tetraédricos sólidos.

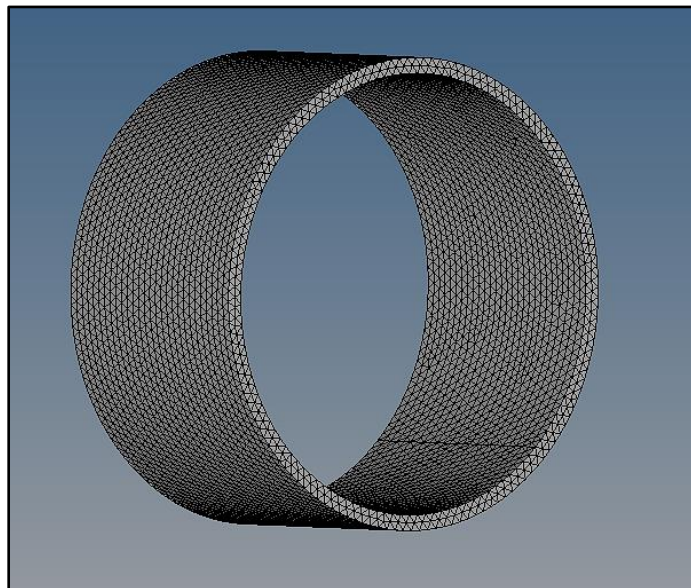


Figura 100. Dominio computacional estructurado para la simulación de esfuerzos en el cilindro de acople intermedio

Las cargas que soportará este componente son las presiones que ejercen los elementos de ajuste tanto por la cara exterior como por la cara interior, para efectos de análisis se restringió el movimiento de los elementos de una de las superficies frontales. Es necesario además, considerar que las cargas que soporta este componente generan tensiones en sentidos opuestos (eliminación por superposición), por ello el caso crítico de análisis corresponde al proceso de montaje del cilindro intermedio sobre el eje (mayor probabilidad de generarse una falla). La figura 101, muestra el contorno de esfuerzos equivalentes (VonMises) que soportará este elemento, cuya magnitud asciende a los 588.7 Mpa.

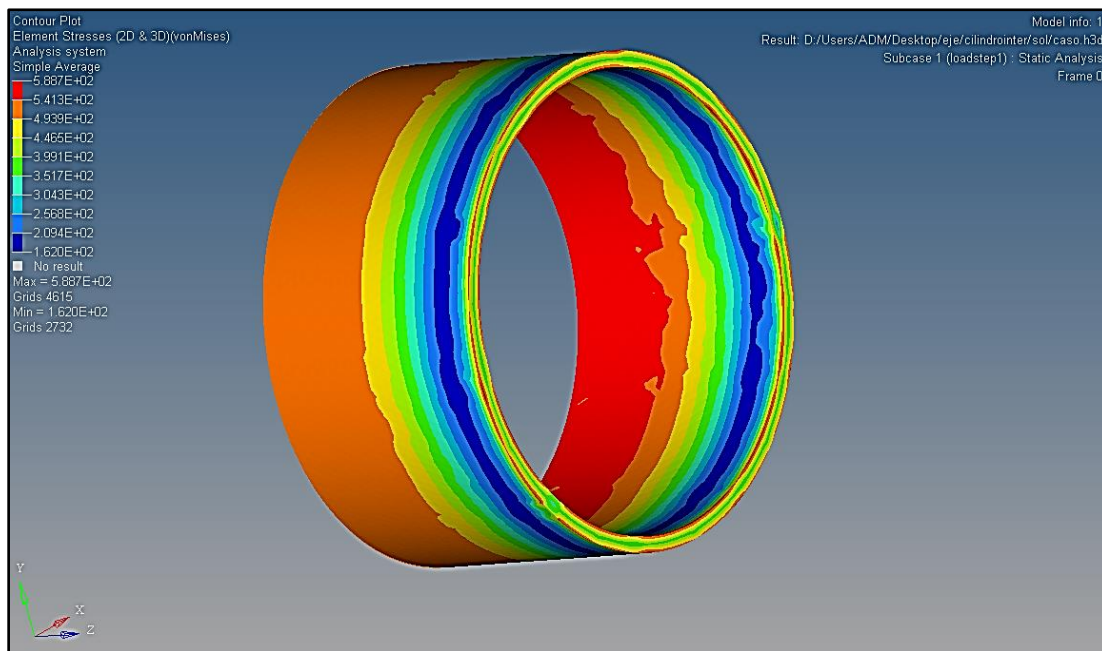


Figura 101. Contorno de esfuerzos equivalentes (VonMises) que soportará el cilindro intermedio durante la fase de montaje sobre el eje

En cambio, la figura 102, muestra el contorno de esfuerzos equivalentes (VonMises) que soportará el cilindro intermedio, una vez que se ha montado sobre el eje, y también se ha montado sobre él, el rodamiento (en esta simulación se aplicó cargas de presión tanto en la superficie exterior, como interior). Se observa que el esfuerzo máximo que soportará este componente durante su funcionamiento es de 313.5 Mpa.

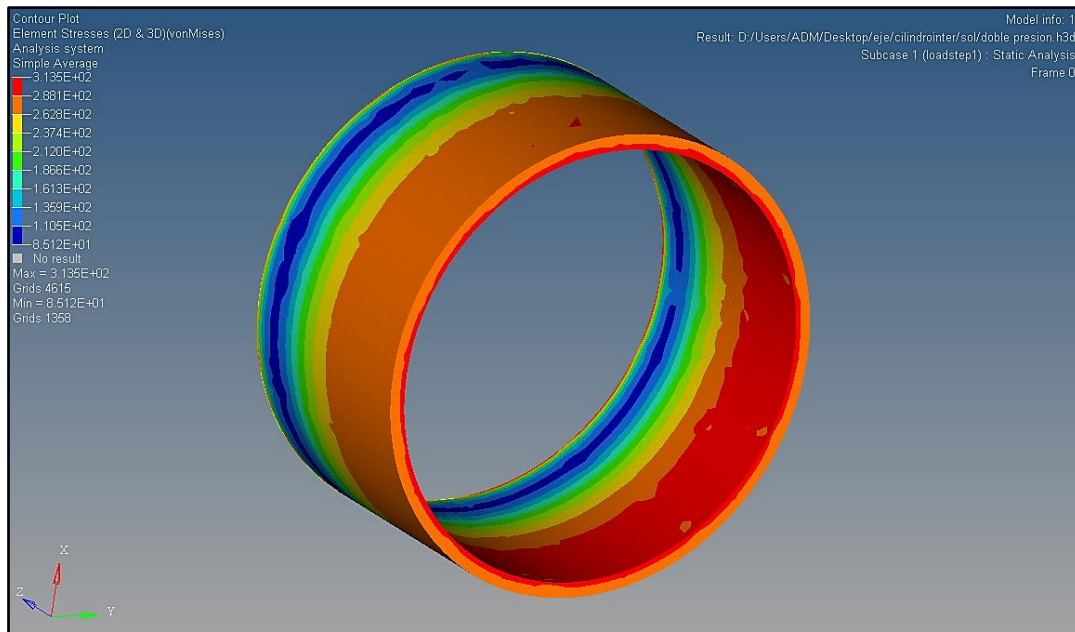


Figura 102. Contorno de esfuerzos equivalentes (VonMises) que soportará el cilindro intermedio una vez montado sobre el eje, y montado sobre él, el rodamiento

Considerando los esfuerzos que este elemento soporta, se optaría por manufacturar este componente en acero normalizado y recocido, y una vez mecanizado deberá ser templado y revenido, así se podría emplear un acero AISI 4130, que tiene buena maquinabilidad y una vez tratado térmicamente alcanzaría un límite de cedencia de al menos 700 Mpa, con ello el factor de seguridad de este componente sería de 1.2; lo cual es aceptable para la aplicación deseada. No obstante para garantizar la idoneidad del tratamiento térmico será necesario verificar límites de tensión en máquina de ensayos universal, de una cantidad significativa de muestras.

Según (Chandler, 1995), el proceso de normalizado de este tipo de acero debe realizarse a 900 °C, y el recocido para obtener una microestructura predominantemente de Perlita, se debe calentar a 855 °C, luego enfriar rápidamente a 675 °C y mantener a esa temperatura por 4 h. El templado debe realizarse una vez que se haya austenizado todo el material a una temperatura de 870 °C, y enfriar rápidamente en aceite y sales minerales a temperatura

ambiente. Para el revenido calentar a 675°C durante al menos 30 minutos, observar la figura 103.

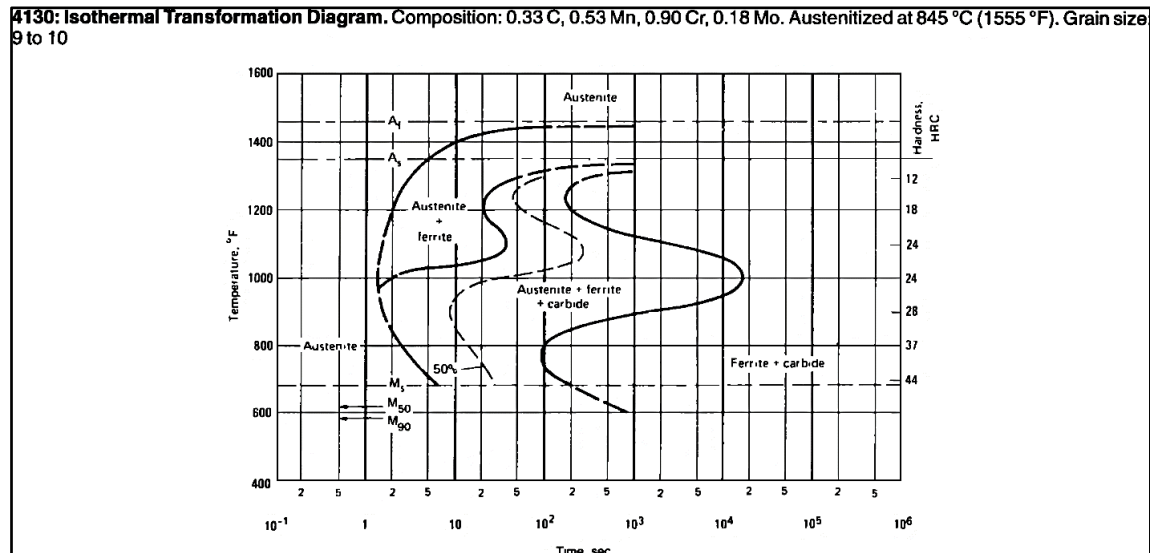


Figura 103. Diagrama de transformación isotérmica del acero AISI 4130 (Chandler, 1995)

4.1.4 Análisis de esfuerzos sobre el eje, luego de maquinar el ajuste con el buje intermedio.

Como se mencionó en el apartado 4.1.1, para acoplar el buje intermedio con el eje, es necesario disminuir el diámetro en la zona de acople entre el rodamiento, en la zona de estudio “A”, el diámetro nominal original del eje es de 45 mm, y para acoplar el buje intermedio el diámetro debe reducirse a 42 mm, a continuación se estudiará la influencia en las prestaciones mecánicas que esta reducción de diámetro ocasiona.

4.1.4.1 Transmisión de potencia.

Con el fin de verificar las prestaciones mecánicas del eje de transmisión, suponiendo que se realice el acople con el buje intermedio, para lo cual el diámetro de la zona de estudio A, debe ser rebajado de 45 a 42 mm, se realizó la simulación computacional de transmisión de potencia a través del eje, considerando las mismas condiciones que en el apartado 3.11.1. La figura 104 muestra el contorno de deformación, en el cual se aprecia que la deformación

máxima es de 0.128 mm, en cambio la figura 4.6 muestra que el esfuerzo máximo de Von Misses es de 122.3 MPa, figura 105, en comparación con las prestaciones del eje antes de realizar la disminución de la sección, incrementan en un 0.7 % y 0.6 %, respectivamente; así se puede determinar que la influencia del maquinado, sobre las prestaciones estructurales es mínima, y no constituye una amenaza para preservar la integridad de este componente.

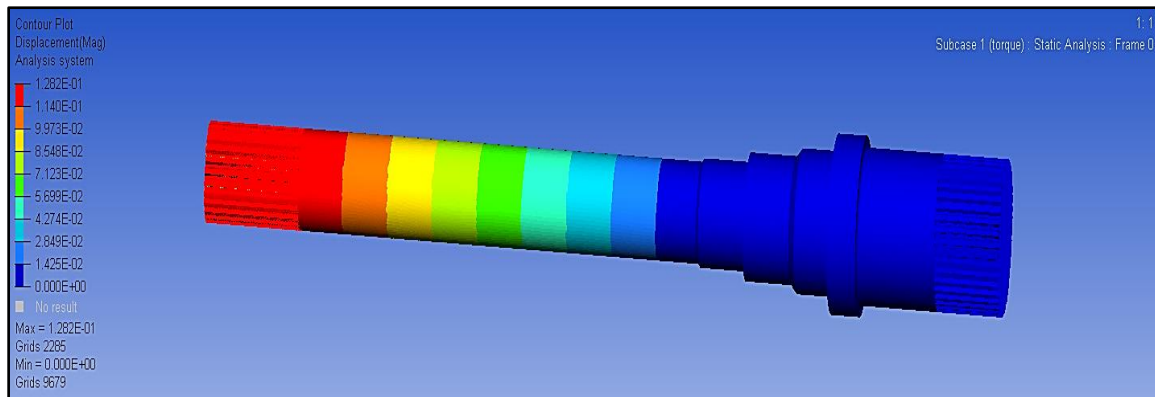


Figura 104. Contorno de deformación máxima del eje, cuando el diámetro de la zona de estudio “A” se reduce de 45 a 42 mm

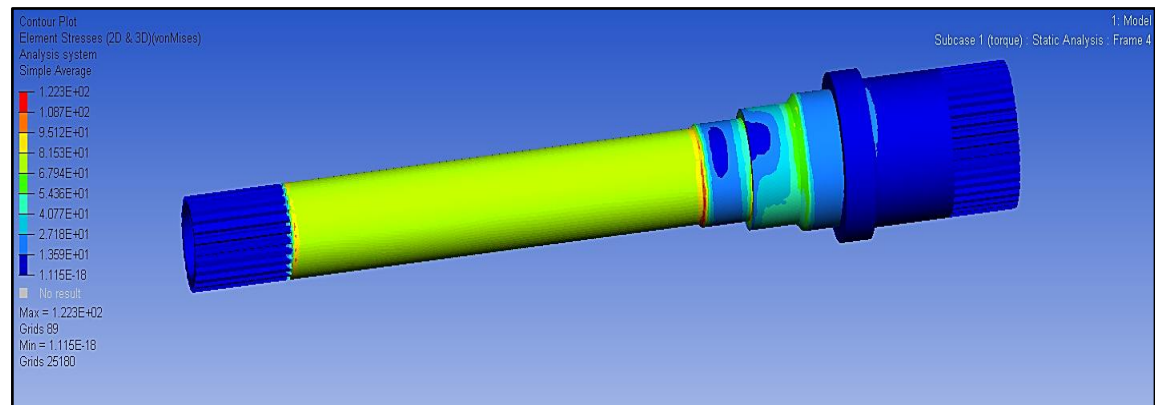


Figura 105. Contorno de Esfuerzos equivalentes (Von Misses) en el eje de transmisión, cuando el diámetro de la zona de estudio “A” se reduce de 45 a 42 mm

4.2 Relleno de la zona de acople entre el eje y rodamiento por fusión.

Otra alternativa que se podría considerar para corregir la falta de ajuste que se presenta entre el rodamiento y el eje en la zona de acople “A”, es la de aportar material por fusión en esta zona para luego proceder a maquinar el eje (proceso de torneado), y así lograr el ajuste requerido entre estos componentes. Las características geométricas del eje hacen que este

resulte susceptible a fallas derivadas de transformaciones microestructurales no deseadas, que podrían derivarse de este proceso, por ello es importante definir los parámetros idóneos para realizar este proceso.

Para ello se realizó una simulación computacional en estado transitorio del aporte de calor de un punto focal fijo que aporta calor hasta alcanzar la temperatura de fusión de la superficie del eje (1350 °C), transcurridos 30 s se analizó el perfil de temperatura figura 106, el cual indica que la zona de transformación austenítica (temperatura superior a 850 °C) no incide sobre los desahogos en esta zona de concentración de esfuerzos.

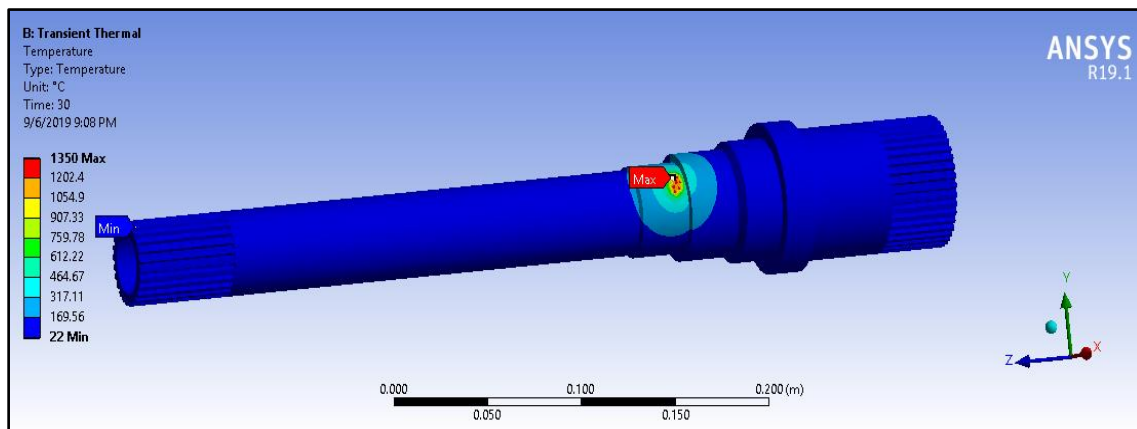


Figura 106. Contorno de distribución de temperatura luego de 30s de aportar calor en un punto focal hasta alcanzar la temperatura de fusión del eje

De acuerdo a los resultados de esta simulación, el proceso deberá llevarse a cabo a través del aporte de material por fusión, utilizando soldadura TIG (soldadura con electrodo de tungsteno no consumible y protección del arco por gas inerte), utilizando varillas de 1/8” de diámetro cuyo material debe ser similar al del eje (acero de transmisión). El proceso se llevará a cabo con aportaciones ininterrumpidas de 30 s, luego de lo cual habrá que esperar hasta que el eje recobre la temperatura ambiente, antes de realizar una nueva aportación. Una vez terminado el proceso de aporte de material, y finalizado el proceso de mecanizado, es conveniente liberar los esfuerzos residuales superficiales a través del proceso de “shoot peening” “es un proceso de trabajo en frío empleado para introducir un campo de tensiones

residuales de compresión y modificar las propiedades mecánicas de los metales. Consiste en proyectar granalla (partículas esféricas metálicas, de vidrio o cerámicas) contra una superficie con la fuerza suficiente para generar la deformación plástica de la misma.” (Norican Group, 2019), caso contrario las probabilidades de que se presenten micro fisuras se incrementan; lastimosamente todo proceso de soldadura puede llegar a presentar este tipo de defecto, ya que el control sobre las variables es difícil de ejecutar, para tener más conocimiento sobre este efecto, es necesario realizar ensayos experimentales junto con estudios metalográficos.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El estudio del sistema de tren de fuerza de la maquinaria agrícola John Deere modelo 6603, permitió conocer y detallar el funcionamiento del sistema de embrague y transmisión lo cual facilitó realizar el diagnóstico de manera correcta de las averías que se originan específicamente en el sistema de embrague.
- A través de la investigación y encuestas de la población de los tractores de diversos clientes, se obtuvo como resultado las diferentes averías de forma prematuras en el sistema de embrague y transmisión TSS, en cual afecta directa en la producción de los clientes.
- Mediante la evaluación técnica realizada en el sistema de embrague y transmisión TSS, se determinó y evidenció la existencia de fallas de ajuste en el eje YZ91406 contra el rodamiento YZ90831, por ende se generan fallas de formas comunes y consecutivos en el sistema de tren de fuerza de la maquinaria agrícola.
- El presente proyecto presenta una serie de ventajas y es factible para la implementación de soluciones de manera viable de los problemas que actualmente se originan, ya que de esta forma se solucionarían los problemas de manera rápida y eficaz con el objetivo principal de evitar la pérdida de tiempo, dinero y productividad.
- Al finalizar la investigación podemos mencionar que hemos cumplido de buena forma los objetivos generales y específicos inicialmente planteados, mediante el cual se realiza un aporte muy importante al sector de la agricultura dentro del Ecuador.

5.2 Recomendaciones

- Para realizar diagnósticos técnicos de manera rápida y de forma correcta es recomendable estudiar y conocer las teorías de funcionamiento de forma sistemática de las maquinarias agrícolas, con lo cual se obtendrá mejor discernimiento.
- Se recomienda siempre realizar diversas encuestas, con finalidades de involucrar a las personas dentro de la propuesta del proyecto de tesis, mediante lo cual se podrá presentar y validar para su sustentación.
- Se aconseja el uso de herramientas de precisión y programas virtuales como AutoCAD, para analizar y simular los defectos de fabricación que pueden ocurrir en los elementos mecánicos fijos y móviles de maquinarias industriales.
- Se recomienda que la manera más viable para la solución de los problemas que actualmente se originan en el sistema de embrague y transmisión, será la remanufactura del eje YZ91406 modificando los diámetros donde se alojan los rodamientos YZ90831, YZ91404, con lo cual mejoraremos el ajuste entre estos dos componentes y evitaremos fallas frecuentes.
- Se recomienda continuar con el estudio técnico, aplicando las 3 propuestas de soluciones mencionadas en el capítulo 4.

Bibliografía

- All test Pro. (2009). *Detectando Fallas en Rodamientos Utiliando Metodos de Pruebas Mecanicos y Electronicos de Vibración*. Obtenido de https://reliabilityweb.com/assets/uploads/docs/DETECTANTO_FALLAS_EN_RODAMIENTOS_UTILIZANDO_METODOS_ELECTRICO_Y_MECANICO_S_DE_VIBRACION.pdf.
- Bisbal, J. (2014). *Mantenimiento de rodamientos*. Obtenido de Calameo: <https://es.calameo.com/read/0042392737b28c4e92284>.
- Carles. (21 de Marzo de 2016). *Agrooptima Blog*. Obtenido de <https://www.agrooptima.com/es/blog/caracteristicas-de-la-agricultura-tradicional-y-moderna/>.
- Carrasco, J. (2017). *Determinación de las causas que provocan las fallas en los soportes de rodamientos de arados para aumentar la vida útil de los rodamientos (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Diseño Mecánico*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26891>.
- Chandler, H. (1995). *Practices and Procedures for Irons and Steels*. Obtenido de https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06400G_TOC.pdf
- Coban Engineering. (Septiembre de 2019). *Tolerancias Ansi y Iso* . Obtenido de https://www.cobanengineering.com/Tolerancias/Desviacion_Fundamental.asp.
- Damián , D. (Septiembre de 2014). *Repositorio de la Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de Análisis y propuesta de mejora del proceso de montaje de una transmisión de vehículo agrícola: <http://hdl.handle.net/10016/26463>.
- Deere & Company. (2016). *Manuales - tm6023 - 6403 and 6603 TractorsLatin AmericaSouth AfricaAsiaDiagnosis and Tests*. Mexico.
- Deere & Company. (2016). *Reparaciones del tren de fuerza* . Obtenido de Manuales - tm6022 - 6403 and 6603 Tractors RepairLatin AmericaSouth Africa-Asia: <http://serviceadvisor.deere.com/WebSA/manuals/tm6022/09001faa805d1aae>.
- Deere & Company. (26 de Julio de 2019). *Productos, Maquinaria y Equipo*. Obtenido de Productos John Deere: <https://www.deere.com/latin-america/es/index.html>.

- Deere & Company. (Septiembre de 2019). *Sobre Nosotros* . Obtenido de <https://www.deere.com.mx/es/nuestra-compa%C3%B1a/acerca-de-john-deere>.
- Estupiñan, E. (28 de Junio de 2016). *Técnicas de diagnóstico para el análisis de vibraciones de rodamientos*. Obtenido de Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Concepción - Chile.: <https://www.avingenieria.net/single-post/2016/06/28/TECNICAS-DE-DIAGNOSTICO-PARA-EL-ANALISIS-DE-VIBRACIONES-DE-RODAMIENTOS>.
- Garzon W, V. (25 de Abril de 2016). *Maquinaria Forestal John Deere*. Obtenido de <https://images.app.goo.gl/oStDing44r7Cp2Vk8>.
- González , F. (2019). *Historia de Deere & Company*. Obtenido de <https://agrotecnica.online/historia-de-deere-company>.
- Google. (8 de Febrero de 2005). *Google Maps*. (Mapeo Web) Recuperado el 16 de Mayo de 2019, de <https://www.google.com/maps/place/Motrac+S.A/@-2.1655365,79.9254133,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x902d727423c3f207:0x8ef9c335490d63a!8m2!3d-2.1655419!4d-79.9232246>.
- Hernandez, F. (2011). *Modelado, simulación y análisis con MSC. Adams aplicación a rodamientos con defectos en una pista de rodadura (Bachelor's thesis)*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10016/13061>.
- Jtekt Corporation. (Agosto de 2019). *Recommended fits*. Obtenido de Koyo: <https://koyo.jtekt.co.jp/en/support/bearing-knowledge/9-4000.html#alink9-4-001>.
- Kozuch. (2008). *John Deere 3350 tractor cortado en Technikmuseum Speyer*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Deere_3350_tractor_cut.JPG?uselang=de.
- Madera, P. (8 de Abril de 2016). *John Deere: El tractor que todos quieren tener*. Obtenido de Marca: <https://www.marca.com/motor/ocio/2016/08/04/57a2ef3646163f0c1c8b460f.html>.
- MatWeb. (Agosto de 2019). *AISI 4340 Steel*. Obtenido de Material Property Data: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=898ac6f5b21e4c84a472742318cf1478&ckck=1>.

- Menbreño, J. (Abril de 2007). *Maquinaria e Implementos Agrícolas*. Obtenido de <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/b5d2407d098a6e82dce195b217afe6ca.pdf>.
- Motrac . (2015). *Fundamentos de Servicio Tecnico, Tractores 5E*. Obtenido de F:\CSP-20-SE2A5EFES-Tractores_5E-Fundamentos-Servicio.
- Motrac . (Septiembre de 2019). *Implementos de labranza - rastra*. Obtenido de Productos : <http://www.motrac.ec/page/es/equipo-de-labranza/rastras>.
- Motrac. (2019). *Fundamentos de Servicio Tecnico, Tractores 6E y 6J*. Obtenido de F:\6Ey6J\CSP-20-SE1A6EJFES-Tractores_6E_6J-Fundamentos-Servicios.
- Motrac. (Septiembre de 2019). *Nuestra Historia* . Obtenido de Sobre Nosotros: <http://www.motrac.ec/index.php/node/2748>.
- Motrac. (Septiembre de 2019). *Tractores Agrícolas Medianos*. Obtenido de Productos : <http://www.motrac.ec/page/es/tractores>.
- Nichols, B. (26 de Junio de 2017). *Departamento de agricultura de los Estados Unidos* . Obtenido de <https://www.ars.usda.gov/oc/images/photos/apr00/k8247-15/>
- Nieto, C., Rafael, L., & Galvís, O. (1985). *Montaje de rodamientos y ejes*. Obtenido de Servicio Nacional de Aprendizaje: <https://hdl.handle.net/11404/1370>
- Ningsang, J. (9 de Julio de 2013). *John Deere Agricultural Services*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/ningsangjamir/industryerspectivejohndeere-13062348841404phpapp01110524060518phpapp01>.
- Norican Group. (2019). *¿Qué es el shot peening?* Obtenido de Wheelabrator : <https://www.wheelabratorgroup.com/es-us/my-application/application-by-process/what-is-shot-peening>.
- Peralta, W. R. (15 de Febrero de 2018). *Análisis para la creación de un taller multimarca y almacén*. Recuperado el 2 de 2018 de 2018, de Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Administrativas : <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29278>.
- Reyes, D. (2016). *Diseño de las manguetas delanteras y posteriores para un vehiculo formula SAE mediante tecnicas de optimización y manufactura con CNC*. Obtenido de Departamentos de Posgrados - Maestría en Sistemas Vehiculares: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6486/1/12625.pdf>.

- Rojas , D. (11 de Marzo de 2015). *Rodamientos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/danielrojasvarona/rodamientos-trabajo-45691296>.
- Serway ; Jewett, Jr., R. (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Obtenido de http://www.unet.edu.ve/gilbpar/libros_digitales/serwayvol1.pdf.
- UNE. (13 de Septiembre de 2013). *ISO. ISO 286-1:2010*. Obtenido de http://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual2/file.php/186/Tolerancias_Dimensionales_.pdf.
- White, G. (2010). *Análisis de Vibraciones* . Obtenido de <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>.
- Wikipedia. (Julio de 2019). *La calidad*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Calidad>.
- Yantalema, L. (Agosto de 2019). Componentes del tractor Agrícola Jonn Deere modelo 6603. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- López, J. (2012). *Ejes* . Obtenido de Proyectos de Ingeniería Mecánica: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/7.pdf>.

Anexo I

Pruebas de dureza sobre la superficie del eje

Proceso llevado a cabo en cumplimiento de la norma ASTM E92 -17 “*Métodos de prueba estándar para la dureza Vickers y la dureza Knoop de materiales metálicos*”

Especificaciones del durómetro:

Marca: Phase II

Modelo: PHT-1800

Certificado de calibración: “calibración con patrón homologado HLD 786”



Figura 107. Fotografía durante una de las pruebas de dureza realizada sobre el eje de transmisión

Tabla 27

Resultados obtenidos de la dureza de la superficie del eje

Muestras	Dureza Vickers (HV)	Mediciones atípicas excluidas
1	629	
2	674	X
3	645	
4	642	
5	637	
6	643	
7	637	
8	639	
9	625	X
10	629	
11	630	
12	635	
Promedio (u)	636,6	
Desviación estándar (d)	12,74	
d/u	0,02	

Al ser d/u menor al 2.5%, se acepta el promedio de las muestras obtenidas

