



DISEÑO DE UN SISTEMA DE ARADO PARA LA PREPARACIÓN DEL SUELO
EN CULTIVOS ORGÁNICOS DIRIGIDO A PEQUEÑOS AGRICULTORES.

OSCAR STIVEN MORALES ZAPATA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA EN MECATRÓNICA
BOGOTA D.C
2015



DISEÑO DE UN SISTEMA DE ARADO PARA LA PREPARACIÓN DEL SUELO
EN CULTIVOS ORGÁNICOS DIRIGIDO A PEQUEÑOS AGRICULTORES.

OSCAR STIVEN MORALES ZAPATA

Trabajo opción de grado

DIRECTOR

Ing. JORGE ALEXANDER APONTE RODRÍGUEZ. M.Sc.

CODIRECTOR

Ing. LEONARDO ENRIQUE SOLAQUE GUZMAN. Ph.D.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA EN MECATRÓNICA
BOGOTA D.C
2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 18 de Noviembre de 2015

DEDICATORIA

Dedico a Dios por la vida que me otorgo, la cual ha sido maravillosa y he disfrutado cada día al lado de grandes personas.

Quiero dedicar este trabajo a mis padres y a mi hermano, por enseñarme que lo que uno se propone lo consigue, por apoyarme en este camino y por estar en este nuevo paso que voy a dar, gracias a ellos por ayudarme a ser quien soy hoy en día.

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a mis padres porque con mucho esfuerzo me ayudaron a cumplir una meta más en mi vida, gracias por brindarme un poco de su conocimiento por formarme con una persona íntegra y con buenos valores morales, gracias por estar en cada decisión que he tomado y por ofrecerme su apoyo.

Gracias a la Ingeniería Jennifer Paola Corredor Gómez MSc., por creer y confiar en mí para el desarrollo de este proyecto, asimismo al Ingeniero Jorge Alexander Aponte MSc., quien ha sido mi tutor en este proyecto y a quien extendiendo mis más sinceros agradecimientos por dedicar su tiempo y conocimiento para el desarrollo de este trabajo.

Gracias al Ing. José Fernando Sierra el cual me permitió conocer un poco más de la industria agrícola, quien estuvo dispuesto siempre a compartir sus conocimientos y a brindar su apoyo en todo lo que fuera necesario

A la Ing. July Alejandra Barrera Sosa, quien con un abrazo o con una frase me motivó, quien me ayudo con sus conocimientos y me permitió conocer a una excelente persona, quien siempre fue transparente, quien me apoyo y me guio en los momentos en que más necesite de su ayuda.

Finalmente a la Universidad Militar Nueva Granada por fomentar el presente proyecto de investigación y por ser mi segundo hogar durante estos 5 años de estudios.

RESUMEN

Hoy en día Colombia se encuentra ubicado como un país agrícola, rico en recursos naturales y diversidad de productos alimenticios, pero carece de una buena infraestructura que le permita hacerse competitivo a nivel internacional. Uno de los factores que afecta la competitividad es la falta de tecnificación de los pequeños agricultores.

Durante la preparación de los suelos para cultivo hay una serie de actividades que se realizan con diferentes herramientas de arado debido a que los procesos demandan tiempo y fuerza física, por tal razón se propuso el diseño y simulación de un dispositivo que puede incrementar la eficiencia tanto en proceso como en recursos energéticos y por ende económicos, logrando así una mejora en la calidad de vida, un apoyo en la labor de labranza y una motivación en la productividad de los cultivos en Colombia.

Este trabajo de grado se basa en el diseño, simulación, evaluación y rediseño, de un prototipo de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos para pequeños agricultores, como dispositivo integral en la fase inicial del proyecto de alto impacto del grupo GIDAM. Para el desarrollo de este proyecto se realizaron pruebas físicas con el fin de obtener valores que permitieron simular mediante el análisis de elementos finitos las tensiones y deformaciones a las cuales se encuentra sometido el arado en el proceso de labranza. En el desarrollo de este trabajo se utilizaron herramientas virtuales de simulación como lo son Labview®, SolidWorks®, Matlab® y Multisim®.

GLOSARIO

- Mullimiento: Acción de deshacer los terrones de los diferentes suelos, hasta convertirlos en polvo (generando una suavidad ideal en los terrenos).
- Vertederas: Elemento de arado, destinado a voltear y extender la tierra levantada. Es la herramienta ideal para levantar la tierra de forma regular logrando de esta manera el volteo de los residuos existentes, con el objetivo de conseguir una descomposición e integración adecuada
- Estallamiento: Proceso de romper, quebrar y abrir el suelo aumentando con esto su porosidad.
- Pie de arado: Causante en muchos casos del crecimiento y desarrollo irregular de los cultivos
- Inversión: Este tipo de labranza da vuelta al suelo en la parte en que es trabajado. Las capas superficiales son completamente enterradas y las capas más profundas son llevadas a la superficie.
- Mezcla: Esta operación mezcla todos los materiales en forma homogénea hasta una cierta profundidad, por lo general cerca de 10 cm.
- Rotura: Este tipo de labranza abre el suelo de modo de aflojarlo sin mover los terrones, por ejemplo en operaciones de descompactación del suelo (subsulado).
- Pulverización: Esta operación consiste en romper finamente los terrones de suelo de modo de formar un horizonte muy fino, por ejemplo, la cama de semillas. Se ejecuta en unos pocos centímetros debajo de la superficie.
- Allanar: Proceso en el cual se deja lisa una superficie.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
ANTECEDENTES	19
CAPITULO 1. REVISIÓN DOCUMENTAL.....	23
1.1 ARADOS COMERCIALES	23
1.2 ESPECIFICACIONES Y CARACTERIZACIÓN DE ARADOS (MARCO TEÓRICO).....	30
1.2.1 PREPARACIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA	30
1.2.2 TIPOS DE LABRANZA.....	31
1.2.3 ARADOS	32
1.2.4 DESPIECE DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ARADO	41
1.2.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ARADO	47
1.2.6 CONSERVACIÓN DEL SUELO Y LA DIRECCIÓN DE TRABAJO:	48
1.2.7 SISTEMAS DE ACOPLÉS.....	49
1.2.8 MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA.....	50
1.2.9 TIPOS DE MANTENIMIENTO	50
1.2.10 CALCULOS MATEMATICOS	51
CAPITULO 2. DISEÑO CONCEPTUAL	60
2.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.....	60
2.2 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	60
2.3 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA.....	62
2.3.1 STM32F407VG	62
2.3.2 XBee PRO S2	64
2.3.3 SELECCIÓN DEL SENSOR	65
2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO	68
2.5 DISEÑO INTERFAZ PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.....	71
2.6 PRUEBAS PRELIMINARES.....	75
2.7 PROPUESTAS DE DISEÑO.....	77
2.8 SELECCIÓN DE PROPUESTAS DE DISEÑO.....	81
CAPITULO 3. VALIDACION EXPERIMENTAL	83
3.1 TRABAJO EN CAMPO	83
3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE TRABAJO EN CAMPO	83

3.3	GRAFICAS DE DATOS OBTENIDOS	86
3.3.1	Prueba 1	86
3.3.2	Prueba 2	89
3.3.3	Prueba 3	92
CAPITULO 4. DISEÑO DETALLADO		95
4.1	VALIDACIÓN DE DATOS	95
4.2	CÁLCULOS MATEMÁTICOS	96
4.2.1	Potencia mínima del tractor	96
4.2.2	Resistencia al rodamiento	96
4.2.3	Fuerza de tiro total	97
4.3	PLANOS ARADO TIPO CINCEL	98
4.4	ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	99
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	104
CONCLUSIONES		106
RECOMENDACIONES		107
TRABAJO A FUTURO		108
BIBLIOGRAFÍA		109
ANEXOS		114
ANEXO A: Arado de Cincel Rígido		114
ANEXO B: Arado de Cincel Vibratorio		115
ANEXO C: Pruebas de Campo		118
ANEXO D: Levantamiento de información		123
ANEXO E: Programación Tarjeta STM32F407VG		128
ANEXO F: Planos Arado Tipo Cincel		130
1	Diseño original Arado tipo Cincel	130
2	Rediseño Arado tipo Cincel	134
ANEXO G: Adquisición de datos en Labview®		138

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Arado de vertedera.	15
Ilustración 2. Arado de discos de John Deere.	15
Ilustración 3. Arado de Cincel vibratorio.....	16
Ilustración 4. Rastra pulidora plegable de alce hidráulico discos 20" x 3,5mm ó 22" x 4mm.	23
Ilustración 5. Rastra desterronadora de tiro discos 24" x 4,5mm ó discos 24" x 6mm (INCLUYE CONJUNTO HIDRAULICO, MANGUERAS Y LLANTAS).	24
Ilustración 6. Arado de discos.	25
Ilustración 7. Arado de cincel parabólico con alerones cortadores.....	26
Ilustración 8. Renovador de praderas.	27
Ilustración 9. Arado de cincel doble resorte.	28
Ilustración 10. Grada de Discos Independientes.....	29
Ilustración 11. Arado de vertedera reversible en su labor de inversión de suelos.....	33
Ilustración 12. Despiece arado de disco.....	41
Ilustración 13. Despiece arado de disco.....	42
Ilustración 14. Despiece arado de cincel.....	42
Ilustración 15. Despiece de una rastra pesada.	43
Ilustración 16. Despiece de un surcador.	43
Ilustración 17. Tarjeta de adquisición de datos STM32F407VG.	62
Ilustración 18. STM32F407VG diseño.	63
Ilustración 19. XBee PRO S2B.	64
Ilustración 20. XBee PRO S2B diseño.	65
Ilustración 21. Acelerómetro MMA7361.	66
Ilustración 22. Alimentación de 12V tomada de la tensión del tractor para alimentar el circuito electrónico.....	69
Ilustración 23. Alimentación circuito electrónico, tierra tomada de la masa de la herramienta.	70
Ilustración 24. Diseño electrónico realizado en Proteus 8®, STM32F407VG, XBee PRO S2.	70
Ilustración 25. Diseño electrónico realizado en Proteus 8®, STM32F407VG, XBee PRO S2 y MMA7361.	71
Ilustración 26. Interfaz realizada en Labview®, pestañas.	71
Ilustración 27. Interfaz realizada en Labview®, Presentación.....	72
Ilustración 28. Interfaz realizada en Labview®, Verificación envío de datos y conexión del puerto serial.	72
Ilustración 29. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza en X.	73
Ilustración 30. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza en Y.	73
Ilustración 31. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza en Z.	74
Ilustración 32. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza Neta.	74
Ilustración 33. Interfaz realizada en Labview®, Visualización general de las fuerzas, almacenamiento de datos, registro de la mas, botón Stop.	75
Ilustración 34. Interfaz realizada en Labview®, Ventana para guardar los datos de la tabla de Almacenamiento de Datos.	75

Ilustración 35. Interfaz almacenamiento de datos inicial	76
Ilustración 36. Vista isométrica arado tipo cincel, realizada en SolidWorks®.	77
Ilustración 37. Vista lateral arado tipo cincel, realizada en SolidWorks®.	78
Ilustración 38. Vista frontal arado tipo cincel, realizada en SolidWorks®.	78
Ilustración 39. Vista posterior arado tipo cincel, realizada en SolidWorks®.	79
Ilustración 40. Vista frontal cincel, realizada en SolidWorks®.	79
Ilustración 41. Vista isométrica zapato, realizada en SolidWorks®.	80
Ilustración 42. Vista isométrica soporte, realizada en SolidWorks®.	80
Ilustración 43. Vista lateral soporte cincel, realizada en SolidWorks®.	81
Ilustración 44. Terreno medición prueba número dos, día 15 de septiembre.	84
Ilustración 45. Zapato adherido al cincel, día 15 de septiembre.	84
Ilustración 46. Terreno medición prueba número dos, día 29 de septiembre.	85
Ilustración 47. Zapato adherido al cincel, día 29 de septiembre.	85
Ilustración 48. Grafica Prueba 1.1. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	86
Ilustración 49. Grafica Prueba 1.2. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	87
Ilustración 50. Grafica Prueba 1.3. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	87
Ilustración 51. Grafica Prueba 1.4. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	88
Ilustración 52. Grafica Prueba 1.5. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	88
Ilustración 53. Grafica Prueba 2.1. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	89
Ilustración 54. Grafica Prueba 2.2. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	90
Ilustración 55. Grafica Prueba 2.3. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	90
Ilustración 56. Grafica Prueba 2.4. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	91
Ilustración 57. Grafica Prueba 2.5. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	91
Ilustración 58. Grafica Prueba 2.6. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	92
Ilustración 59. Grafica Prueba 3.1. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	93
Ilustración 60. Grafica Prueba 3.2. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	93
Ilustración 61. Grafica Prueba 3.3. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.....	94
Ilustración 62. Arado de cincel rígido.....	114
Ilustración 63. Elementos sistema de Arado de cincel vibratorio.....	115
Ilustración 64. Componentes de estructura tubular sistema de Arado De Cincel Vibratorio.....	116
Ilustración 65. Componentes de Cincel Vibratorio	117
Ilustración 66. Tractor con el cual se realizaron pruebas.	118
Ilustración 67. Estructura tubular, soporte y cincel.	118
Ilustración 68. Anclaje arado tipo cincel al tractor.	119
Ilustración 69. Computador con módulo XBee encargado de la recepción de datos.	119
Ilustración 70. Tractor con arado tipo cincel y circuito eléctrico.....	120
Ilustración 71. Polarización circuito electrónico.	120
Ilustración 72. Arado tipo cincel a una profundidad de 20cm aproximadamente.	121
Ilustración 73. Arado tipo cincel elevado de la superficie.	121
Ilustración 74. STM32f407 y XBee de transmisión de datos.....	122
Ilustración 75. Terreno arado en la Sabana.	123
Ilustración 76. Rotobator.	123

Ilustración 77. Rotobator con discos.....	124
Ilustración 78. Arado tipo cincel vibratorio en campo.....	124
Ilustración 79. Rastra pesada en campo.	125
Ilustración 80. Tipo de Arado.	125
Ilustración 81. Tractor para el sector agrícola.....	126
Ilustración 82. Arado de disco en el campo.	126
Ilustración 83. Arado tipo cincel 1 en el campo.	127
Ilustración 84. Arado tipo cincel 2 en el campo.	127
Ilustración 85. Programación y configuración Tarjeta STM32F407VG.	128
Ilustración 86. Parámetros de configuración módulo UART de la STM32F407VG.	128
Ilustración 87. Formato para el envío de datos módulo UART.	129
Ilustración 88. Despiece ensamble Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.	130
Ilustración 89. Soporte de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.	131
Ilustración 90. Cincel de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.....	132
Ilustración 91. Zapato de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.....	133
Ilustración 92. Despiece ensamble rediseño Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.....	134
Ilustración 93. Soporte rediseño de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.	135
Ilustración 94. Cincel rediseño de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.....	136
Ilustración 95. Zapato rediseño de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.....	137
Ilustración 96. Registró de fuerzas X, Y, Z y Fuerza Neta, Almacenamiento de datos y de la masa.	138
Ilustración 97. Almacenamiento de datos para luego ser exportados a Excel®.	139
Ilustración 98. Detección puerto serial y recepción de datos en Labview®.....	140

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características y usos de los diferentes sistemas de labranza desarrollados en Colombia.	30
Tabla 2. Materiales para la construcción de arados.	41
Tabla 3. Despiece de los diferentes tipos de Arados.	43
Tabla 4. Porcentaje de residuos que quedan sobre la superficie del suelo con diferentes actividades de preparación de la tierra.	48
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los procesos de labranza.	48
Tabla 6. Características del tractor utilizado para las pruebas.	61
Tabla 7. Delimitación de variables en la toma de datos.	62
Tabla 8. Características STM32F407VG.	64
Tabla 9. Características XBee PRO S2B.	65
Tabla 10. Información general acelerómetro MMA7361L.	67
Tabla 11. Información detallada acelerómetro MMA7361.	68
Tabla 12. Distribución y alimentación del acelerómetro MMA7361.	68
Tabla 13. Diseño del Arado tipo cincel utilizado para el experimento.	80
Tabla 14. Tabla de selección de propuesta de diseño.	82
Tabla 15. Registro de datos Prueba 1.	86
Tabla 16. Registro de datos Prueba 2.	89
Tabla 17. Registro de datos Prueba 3.	92
Tabla 18. Fuerza teórica estimada entregada por el tracto 5403.	96
Tabla 19. Energía específica para labores agrícolas a diferentes tipos de suelo.	97
Tabla 20. Simulación por elementos finitos del Arado tipo cincel, diseño inicial y rediseño con una fuerza aplicada de 1430N, imágenes tomadas de SolidWorks®.	101
Tabla 21. Simulación por elementos finitos del Arado tipo cincel, diseño inicial y re-diseño con una fuerza aplicada de 2800N, imágenes tomadas de SolidWorks®.	104

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se documenta el proceso de diseño, simulación, evaluación y rediseño de un sistema de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos para pequeños agricultores enfocado al uso racional de los recursos; proyecto que nace con la necesidad de incentivar la tecnificación en el campo y así incrementar la productividad disminuyendo el impacto ambiental derivado de las malas prácticas con el cultivo.

La mecanización agrícola, tiene como objetivo diseñar, seleccionar, estudiar, recomendar máquinas y equipos de uso agro-industrial, con el fin de incrementar la productividad, eficiencia y rapidez en las actividades que se deben llevar a cabo en el sector rural, para la preparación de los suelos cuando se va a realizar el proceso de labranza [1].

Una de las actividades que se deben adelantar en el proceso de siembra es la preparación de los suelos, la cual consiste en efectuar una labor de “estallamiento”, es decir, romper, quebrar y abrir el suelo aumentando con esto su porosidad y por lo tanto incrementando la capacidad para absorber humedad y nutrientes que facilitan el crecimiento del cultivo que se tenga proyectado. Para lograr un adecuado proceso debe tenerse en cuenta la profundidad a la que trabajará el sistema de arado, las propiedades del suelo, geometría de la herramienta (la mayoría de las herramientas de corte que son utilizadas en la labranza han sido desarrolladas por experimentos de campo o pruebas de ensayo-error) y la velocidad del corte [2].

En las labores de la labranza, es necesaria la implementación de métodos que no destruyan las capas que conforman el suelo, para esto se recomienda la experimentación de nuevas técnicas de labranza. Un estudio realizado a largo plazo y publicado en Argentina [3], presentó la labranza cero o siembra directa como una técnica conservadora de producción agrícola que ha surgido como respuesta a la degradación de los recursos, principalmente del suelo y del medio ambiente, dando como resultado ciertos beneficios que serán expuestos para demostrar la productividad y sostenibilidad de este sistema.

La labranza cero o siembra directa ha generado beneficios como la mejora en el aprovechamiento del agua, protección de la tierra contra la erosión, mejora en el balance de la materia orgánica, aumento de la capacidad de siembra donde arar no era posible por la falta de agua, prolongación en el ciclo agrícola, extensión de la vida útil del tractor (reduciendo el uso en un 66%), ahorro de combustible, reducción de la cantidad de maquinaria utilizada y un rendimiento de un 25 a 40% en los cultivos.

En el proceso de acondicionamiento del suelo se requiere de diferentes sistemas de laboreo, la utilización de equipos que sean capaces de realizar labores a diferentes distancias asegurando una longitud máxima de trabajo de 40 cm. Para llevar a cabo estas labores se hace necesario la implementación de equipos que se basen en el volteo de la tierra como los son arados de vertedera (Ilustración 1) y

disco (Ilustración 2). Sin dejar de lado los equipos de labranza verticales como los arados de cincel [4]. Si los métodos anteriores son llevados a cabo por personas del sector agrícola se debe tener en cuenta que, las personas no pueden trabajar jornadas continuas, la rapidez o eficiencia del trabajo no sería la misma, no es igual realizar un arado a 15 cm de profundidad que a 40 cm debido a la variación en la fuerza que se debe ejercer, no se podrían trabajar distancias largas y el trabajo no sería el mismo si tenemos en cuenta las condiciones climáticas.



*Ilustración 1. Arado de vertedera.
Fuente [5].*



*Ilustración 2. Arado de discos de John Deere.
Fuente [6].*

Según Jorge Carrasco y Jorge Riquelme hace más de 2000 años, que el arado de vertedera apareció en la agricultura, y transcurrieron muchos siglos desde que se comenzaron a utilizar las primeras herramientas rústicas de madera, destinadas al laboreo, hasta que se desarrollaron y probaron las fórmulas matemáticas creadas por Tomas Jefferson para el diseño del arado de vertedera en 1776, un arado de hierro fundido. Como consecuencia de los esfuerzos realizados por Webster para mejorar el diseño de los arados, la década de 1830 marco el comienzo de la fabricación comercial de arados de vertedera de acero. En 1864, Fowles fabrica un arado arrastrado mediante un cabestro por dos máquinas de vapor situadas en los

extremos de la parcela que va a ser labrada. Posteriormente, se introdujo otro complemento más, que fue el cuerpo cavador, con la idea de lograr una pulverización máxima del suelo, estableciendo así el modelo básico de arado [7].

En las regulaciones para el nivel de arado, se debe considerar el plano formado por todos los cinceles del arado en posición de trabajo (a la profundidad deseada) debe mantenerse paralelo a la superficie del suelo, sólo de esta manera se logra que la profundidad de aradura sea uniforme en todo el terreno. Para tal efecto, en los arados integrales, se debe nivelar el chasis transversalmente articulando uno de los brazos laterales del sistema hidráulico [8].

Para el desarrollo de este proyecto es necesario conocer de los mecanismos de labranza, en la cual se evidencia que los tipos de arado más conocidos son el arado de disco y el de arco cincel. El arado de disco es una alternativa que reduce la fricción generada en el arado de vertedera mediante un cuerpo rodante en vez de un sistema que se deslizaba a lo largo de los surcos.

En el arado de disco (Ilustración 2), los discos no son paralelos a la dirección del arado ya que de esta manera se logra optimizar el trabajo de cortar y remover la tierra, pueden trabajar en terrenos más difíciles como los pedregosos y de reducir el desgaste de las piezas metálicas gracias a la rotación de los discos. Hay que resaltar que con los arados de pala se logra conseguir una mayor profundidad de trabajo y un volteo de la tierra más completo que con los arados de disco.

El arado de arco cincel (Ilustración 3) realiza labores primarias de preparación del suelo (aradura) se identifica con la labranza vertical, cuya principal característica es soltar el suelo sin invertir ni mezclar las distintas capas de su perfil, convirtiéndolo en un protector del suelo y del medio ambiente.



*Ilustración 3. Arado de Cincel vibratorio.
Fuente [9].*

En nuestro país las grandes extensiones de tierras fértiles y las ganas de trabajar, han alimentado la necesidad de los pequeños agricultores para disponer de nuevas herramientas para el campo, en miras de obtener procesos más eficientes, seguros y especialmente económicos a través de los cuales y sin dejar de lado la calidad se logre una adecuada preparación del suelo.

Las herramientas se encuentran expuestas a un desgaste abrasivo el cual es un problema industrial, este aumenta los costos de consumo energético, obliga a la reconstrucción o reposición de piezas generando un tiempo muerto. Un estudio realizado dio como resultado que los gastos generados por la fricción y el desgaste de las piezas pueden estar entre el 0.3% al 3.0% del PIB de un país industrializado, enfocándose en los países subdesarrollados [10]. Por tal razón se hace necesario la innovación en técnicas y en materiales que sean adecuados para un mejor desarrollo a nivel agrícola.

Colombia se encuentra ubicado como un país agrícola, rico en recursos naturales y diversidad de productos alimenticios, pero carece de una buena infraestructura que le permita hacerse competitivo a nivel internacional. Uno de los factores que afecta la competitividad es la falta de tecnificación de los pequeños agricultores.

Durante la preparación de suelo para cultivo hay una serie de actividades que se realizan de forma manual lo cual es un problema debido a que los procesos toman mucho tiempo y fuerza física, por tal razón se propone el diseño y simulación de un dispositivo que supla las labores manuales de arado del agricultor, logrando así una mejora en su calidad de vida, apoyando su labor de forma continua e impulsando la productividad de los cultivos en Colombia. Con base en las razones expuestas, el objetivo general de este trabajo se basa en el diseño, simulación, evaluación y rediseño del prototipo de arado para el sector agrícola, dando así una solución a los problemas de tiempo y eficiencia en el acondicionamiento del suelo para pequeños agricultores.

En el capítulo uno, se llevó a cabo una revisión documental la cual fue dividida en dos partes; la primera parte se encuentra enfocada a un estudio de mercado en donde se destacan las herramientas que son fabricadas en Colombia para el proceso de labranza. La segunda parte hace referencia a las especificaciones, preparación del suelo, tipos de labranza, arados, criterios de selección para los diferentes terrenos que hay en el país, características, materiales, sistemas de acople, historia de los arados y cálculos que se pueden tener en cuenta a la hora de realizar un proceso de labranza, esta información fue consultada a medida que se realizaban las respectivas visitas de campo (anexo D).

En el capítulo dos, se realiza un proceso de diseño conceptual en el que se empieza por estipular o identificar los parámetros de diseño de las pruebas que se realizaron, luego se delimitó el proyecto, es decir, se habla de las condiciones en las cuales fueron desarrolladas las pruebas, una vez aclarada esta información se da paso a la instrumentación electrónica, en donde se elaboró una propuesta de los dispositivos electrónicos que se utilizaron para la medición de las fuerzas en el cincel, exponiendo los circuitos (realizados en Proteus 8 profesional®), la interfaz (realizada en Labview®) y se da a conocer el tipo de pruebas que se realizaron. Para finalizar este capítulo se expone el diseño original y el levantamiento de CAD realizado en SolidWorks® para luego dar a conocer las propuestas de rediseño y la selección de una de estas.

En el capítulo tres, se lleva a cabo la validación experimental, empezando con la explicación de las pruebas que se van a desarrollar con el arado tipo cincel, se analizan las pruebas determinando errores en la medición de datos y se da a conocer posibles cambios para unas próximas pruebas, finalmente se realizaron las gráficas de la nueva toma de datos según las correcciones elaboradas a las primeras muestras.

En el capítulo cuatro, se realiza una validación de los datos experimentales en donde se obtiene el valor de la fuerza realizada por el arado tipo cincel en el proceso de labranza, se realizan los cálculos matemáticos de la fuerza estimada por el tractor, se calculó la fuerza de tiro y la resistencia al rodamiento con el fin de comparar los datos teóricos con los experimentales y garantizar que no sean incoherentes, posteriormente se realizaron los análisis de elementos finitos al diseño original y al rediseño del cincel con el fin de observar las diferencias entre un diseño y el otro.

ANTECEDENTES

En un proceso de unificación e integración tecnológica se ha logrado que diferentes ciencias planteen el mismo objetivo general, dando como resultado una agricultura de precisión, donde la ingeniería mecatrónica se complementa con el sector agrícola para el cultivo de productos, certificando de esta manera una mejor calidad y eficiencia en la producción, basados en la optimización de las diferentes labores involucradas [11].

El proceso evolutivo de la maquinaria agrícola evidenciado en el siglo pasado, logró ser de gran desarrollo que hoy en día se está evidenciando la implementación de dispositivos electrónicos e informáticos en las máquinas, con los cuales se pretende medir diversas variables relativas al trabajo que se esté desarrollando, la información es almacenada en registros, de esta manera la atención es centrada en la labor y en la toma de decisiones en función de las características del terreno [12].

La aparición de la agricultura de precisión consiste en la utilización de una serie de herramientas tecnológicas que ayudan a tomar decisiones para ser más eficientes con el control de insumos, cantidad de semillas sembradas, terrenos trabajados, detección de plagas, etc. El proceso evolutivo de la maquinaria agrícola evidenciado el siglo pasado ha sido el promotor de la implementación de dispositivos electrónicos e informáticos en las máquinas: brújulas, sistemas de posicionamiento geográfico satelital (GPS), teodolito (aparato topográfico de precisión compuesto por un sistema óptico-mecánico para medir ángulos verticales y horizontales), entre otros. Con los cuales se pretende medir diversas variables relativas al trabajo que se esté desarrollando [13].

La implementación de sistemas autónomos de monitoreo para maquinaria agrícola utilizados en el control de un tractor tiene sus primeros pasos con la adaptación del GPS. Debido a que estos sistemas permiten un ahorro de combustible, semillas, químicos y la eliminación del jornalero. Un proyecto realizado en marzo del 2006 logró el desarrollo de un sistema de generación de rutas que permitió guiar y/o manipular un vehículo agrícola mediante la implementación de algoritmos, que aseguraron el cubrimiento y recorrido de los campos sin dejar de lado la optimización de recursos [14].

El proceso de recolección mecánica supera en tiempo y eficiencia de manera muy significativa a la recolección manual, lo cual ha forzado a dirigir los esfuerzos para conseguir una optimización de los procesos mediante la implementación de medios tecnológicos y sistemas informáticos que permitan recibir y procesar la información en tiempo real con el fin de permitir y garantizar óptimos niveles de rendimientos en los procesos realizados evidenciados en la reducción de desperdicios y la limpieza del cultivo mientras se cosecha [15].

Con la evolución y avances en los sistemas de arado resulta necesario la implementación de procesos automatizados y de nuevas técnicas que favorezcan el funcionamiento total de este. En un proyecto diseñado para los arados de carbón, se estableció un modelo de control automático de potencia en los apoyos del arado,

a su vez se introdujo el principio de funcionamiento de sistemas de control de un soporte motorizado, estableciendo tres características de control como lo son: velocidad de respuesta, fiabilidad y facilidad de mantenimiento del sistema. Además se ha introducido poco a poco el funcionamiento principal de los controladores primarios, subordinados y la realización del sistema de comunicación por un autobús individual [16].

En la historia de la agricultura, el laboreo convencional del suelo ha estado ligado de manera inseparable con el control de las malezas. No obstante, en la actualidad, la utilidad del arado de vertedera y de discos como medio de control de malezas y preparación de la cama de siembra ha sido cuestionada, por su incidencia en los procesos que favorecen la erosión del suelo [17].

En nuestro país existen tantos métodos de labranza como tipos de suelos, clima y agricultores que poseen variedad de técnicas y materiales, lo que impide utilizar un sólo método de labranza para conseguir una siembra adecuada. Cada situación requiere de un análisis particular, con el propósito de elegir el equipo y método de uso que más se acomode a las características del agricultor como productor. Además de contar con la maquinaria para lograr una buena cama de siembra, se debe poseer la tecnología para su operación, mantenimiento y conservación [18].

El arado de disco es en la actualidad, un instrumento prácticamente desconocido en muchas regiones, en parte como consecuencia de los notables avances producidos en el diseño de arados de vertedera y de la mayor dificultad para regularlo correctamente. Sin embargo, en otras regiones constituyen la base de la aradura profunda, en gran medida como consecuencia de su adaptación o determinadas condiciones del suelo [19].

Los arados de disco antiguos presentaban dos secciones y eran movidos por caballos, bueyes o en su defecto por las mismas personas, estos no contaban con un funcionamiento hidráulico. En la actualidad son accionados por tractores y poseen un sistema hidráulico que hace más eficiente el trabajo. Hay que resaltar que el arado de disco realiza mejor su trabajo en esos casos en los que el arado de vertedera no cuenta con las condiciones adecuadas, tales como [20]: suelos pegajosos que no escurren bien sobre la vertedera, suelos que tengan capas compactas, suelos secos y duros en los que el arado de vertederas no puede penetrar, suelos con raíces o tocones ya que los discos pueden rodar sobre tales obstáculos, suelos muy abrasivos que provocan desgaste excesivo porque los discos al girar se desgastan uniformemente.

El arado de vertedera, ha sido durante muchos años la herramienta básica del laboreo convencional. Corresponde a uno de los equipos que invierte el perfil del suelo, labor que efectúa eficientemente, al separar una capa de terreno del subsuelo adyacente, pulverizarlo, elevarlo y darle vuelta. Por tales razones su uso no es masivo en Norteamérica y Europa [21].

El proceso de la agricultura orgánica no se queda en un lineamiento de producción, debido a que se basa en las prácticas locales y naturales que dependen de la región en donde se estén llevando a cabo los diferentes cultivos. Hay que tener en cuenta la biodiversidad, los ciclos biológicos y las actividades biológicas del suelo, con el fin de evitar el uso de productos químicos (fertilizantes sintéticos y pesticidas) que puedan perjudicar tanto a la producción como al medio ambiente y el uso de organismos genéticamente manipulados (Comisión del Codex Alimentarius FAO 1999). No solo podemos pensar en un beneficio a nivel industrial para el sector agrícola también debe pensarse en el ecosistema evitando la promoción de organismos o productos alterados. Es aquí en donde el proceso de arado debe ser supervisado de forma que se garantice que el suelo si es apto para la producción en masa de productos orgánicos [22].

En la actualidad los sistemas de arado no solo se limitan al sector agricultor, encontramos proceso de labranza utilizados en los fondos marinos, los cuales cuentan con dispositivos que poseen un sistema de arado, un sistema antideslizante y de dirección. Son conocidos como arados offshore y cuentan con un análisis dinámico virtual de esta manera se supervisa el comportamiento durante la excavación de zanjas y así mismo se controla su dirección. Por medio de las simulaciones 3D se puede presentar los efectos de onda en la arena y los ajustes de la fuerza del remolque, generando una idea virtual de cómo será el comportamiento y el trabajo que realizara este sistema de arado marino [23].

Un aspecto importante y para tener en cuenta es la adhesión de las herramientas al suelo, especialmente en suelos pegajosos en donde deben crearse fuerzas adicionales para romper la fricción generada. La energía consumida para superar la adhesión y la fricción entre el suelo y las herramientas de labranza oscilan entre 30% y un cincuenta por ciento de la energía bruta que se consume durante la producción agrícola. La resistencia al desplazamiento entre el suelo y la superficie de arado durante la operación contribuye en un 25-28% de la resistencia total del arado. A raíz de esto se han creado varios métodos con el fin de reducir la adhesión de la herramienta al suelo, como lo son: tratamientos térmicos, una buena lubricación en las herramientas de trabajo, la implementación de diferentes materiales y revestimientos, se han hecho estudios de vibraciones, aplicaciones de campos electromagnéticos y superficies biométricas [24].

En un estudio realizado [2] el objetivo principal consistía en comparar las fuerzas del suelo sobre un arado de disco por medio de fuerzas medidas dentro de la profundidad del suelo de arcilla (90 g kg⁻¹ de arena, 210 g kg⁻¹ de limo, 700 g kg⁻¹ de arcilla) y suelos arenosos (770 g kg⁻¹ arena, 40 g kg⁻¹ limo, 190 g kg⁻¹ de arcilla). En el proyecto se suponen tanto los efectos del ángulo de inclinación y la velocidad de arado, en donde se plantean dos velocidades de arado (4-10 Km/h) en tres ángulos de inclinación (15 °, 20 ° y 25 °). Dando como resultado que al aumentar el ángulo de inclinación aumenta la proyección, las fuerzas verticales disminuyen y las fuerzas laterales aumentan, al aumentar la velocidad aumenta la proyección, fuerzas laterales y las fuerzas verticales disminuyen.

Los procesos de labranza no siempre son realizados con la misma profundidad, esto depende de las propiedades del terreno en el que se desea realizar el trabajo. Normalmente los procesos de labranza trabajan a una profundidad máxima de 40 cm, gracias a un arado especial se puede trabajar con una profundidad máxima de 60 cm, este sistema especial es utilizado en esos suelos que resultan afectados por la sal. Este proceso tiene como objetivo cortar el ascenso capilar del agua subterránea mediante la creación de una capa gruesa del subsuelo labrado [25].

En el campo de los materiales se presenta la oportunidad de innovar e investigar frente a los compuestos de los materiales, con el fin de obtener un mejor desempeño en las herramientas agrícolas que son fabricadas en Colombia. Según los antecedentes las herramientas diseñadas en el país en los últimos años son de aceros de mediano contenido de carbono, los cuales, tienen una dureza aceptable del orden de 40 HRC, y tienen la ventaja de tener altos niveles de tenacidad; por lo que las fracturas frágiles se han disminuido en las operaciones de campo, respecto a las herramientas fabricadas con contenidos altos de carbono, como los aceros AISI 1070. Pero no solo se hace referencia a este tipo de aleaciones también encontramos composiciones químicas (recientes) que se encuentran presentes en la fabricación de estas herramientas como lo son; la adición de pequeñas cantidades de boro y cromo, logrando así un aumento en la tenacidad de los aceros, y un mejoramiento a nivel de dureza y resistencia a la corrosión [26].

Un aspecto importante que marca a las sociedades es el índice demográfico, según estudios realizados se afirma que la demanda de alimentos crecerá significativamente en los próximos 40 años, generando un incremento significativo en los índices demográficos [27]. Para el 2050 el incremento en la producción de alimentos será de un 70%. La demanda en los productos orgánicos aumentará sobre todo en los países que están en proceso de desarrollo, debe resaltarse que la producción de productos orgánicos puede generar grandes beneficios económico-sostenibles en las diferentes regiones del país. Con el crecimiento de la demanda en los productos orgánicos se ha incrementado a la vez los requisitos de los lugares en donde se dan estos cultivos, generando así una exploración en diferentes técnicas o maneras de cumplir con tal demanda. Cabe destacar que en el afán de cumplir con la demanda de productos no se debe afectar la calidad con el uso de componentes químicos que resulten perjudiciales a cualquier etapa de los producción orgánica [28].

CAPITULO 1. REVISIÓN DOCUMENTAL

Con la finalidad de obtener información acerca del proceso de labranza se hace necesario desarrollar una consulta en el cual se abarquen los aspectos que se encuentran ligados a este proceso, con ánimos de establecer los requerimientos apropiados para el desarrollo del presente trabajo.

1.1 ARADOS COMERCIALES

En el proceso de documentación se encuentran empresas como; INAMEC, All-Biz, GILDEMEISTER, JOHN DEERE y Maquinaria MONTANA LTDA las cuales se dedican a la fabricación de maquinaria de labranza tradicional, labranza mínima y siembra directa, como también remolques para todo tipo de aplicaciones.

Con la revisión de la documentación disponible se elabora la tabla 1, en la cual se presenta las características y usos de los diferentes mecanismos de labranza fabricados en Colombia.

Tipos de arado	Especificaciones								
Rastras de alce	<div data-bbox="711 1024 1166 1423" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="500 1430 1383 1507"><i>Ilustración 4. Rastra pulidora plegable de alce hidráulico discos 20" x 3,5mm ó 22" x 4mm. Fuente [29].</i></p> <ul data-bbox="548 1549 808 1581" style="list-style-type: none"> • Características <table data-bbox="500 1623 1237 1766"> <tr> <td>Numero de discos:</td> <td>16 - 20 - 24</td> </tr> <tr> <td>Peso Implemento (Kg):</td> <td>450 - 500 - 550</td> </tr> <tr> <td>Potencia requerida (HP):</td> <td>50 - 55 - 70</td> </tr> <tr> <td>Profundidad de trabajo (Mts):</td> <td>0.25</td> </tr> </table>	Numero de discos:	16 - 20 - 24	Peso Implemento (Kg):	450 - 500 - 550	Potencia requerida (HP):	50 - 55 - 70	Profundidad de trabajo (Mts):	0.25
Numero de discos:	16 - 20 - 24								
Peso Implemento (Kg):	450 - 500 - 550								
Potencia requerida (HP):	50 - 55 - 70								
Profundidad de trabajo (Mts):	0.25								

	<ul style="list-style-type: none"> • Usos <p>Las rastras de disco semi-colgadas compensan trabajos pesados, son ideales para pulverizar antes del arado y para triturar el suelo o luego del arado en tierra residual y suelos duros.</p> <p>Estas rastras pueden reemplazar el arado y completar la primera etapa en la preparación del suelo de terrenos para cultivos de gran extensión.</p> <p>Su desempeño es mejor en la nivelación de superficies, trituración de suelos y pulverización luego del arado.</p> <p>Se caracterizan por su fácil acoplamiento, ajuste conveniente, giro flexible y buen desempeño de paso de caminos, entre otras funciones.</p>
<p>Rastras de tiro</p>	<div data-bbox="574 890 1300 1262" data-label="Image"> </div> <p><i>Ilustración 5. Rastra desterronadora de tiro discos 24" x 4,5mm ó discos 24" x 6mm (INCLUYE CONJUNTO HIDRAULICO, MANGUERAS Y LLANTAS). Fuente [30].</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Características <p>Numero de discos: 16 - 18 - 20 - 22 - 24 Peso Implemento (Kg): 950 - 1050 - 1100 - 1200 - 1300 Potencia requerida (HP): 50 - 60 - 70 - 80 - 90 Profundidad de trabajo (Mts): 0.22</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usos <p>Son rastras de disco hidráulicos los cuales son ideales para el rompimiento de terrenos arcillosos que se encuentran duros luego de realizar la labranza.</p>

Estas rastras de discos se caracterizan por su amplio campo de acción, facilitan el transporte, su estructura es compacta, generan una alta productividad, son fáciles de operar y su mantenimiento no resulta tan tedioso y costoso.



Ilustración 6. Arado de discos.
Fuente [31].

Arado de disco

- Características

Numero de discos:	3	-	4	-	5
Peso Implemento (Kg):	420	-	470	-	520
Potencia requerida (HP):	50	-	60	-	70
Profundidad de trabajo (Mts):	0.30				

- Usos

Es una herramienta muy común, es utilizada para mullir el suelo y controlar la maleza que se puede generar alrededor de la zona cultivar.

Existen dos modelos básicos que difieren en la disponibilidad de los discos y los cuerpos del chasis: rastras de discos desplazadas offset y rastras de discos tandem.

Cualquiera sea la finalidad de su uso, es deseable que la rastra de discos actúe al máximo de velocidad permisible y superficialmente para acondicionar la zona de semillas (rastras tandem).

La rastra off-set es más eficiente por diseño y peso, razón por la cual se recomienda su uso en labores de mullimiento de suelos pesados y para el picado superficial de los rastrojos o cubierta vegetal. Con una rastra off-set pesada debidamente trabada actuando sobre un suelo liviano, se puede realizar una

	<p>labor profunda similar a una aradura que sólo permite soltar el suelo sin invertirlo.</p>																																
<p>Arado de cincel parabólico con alerones cortantes</p>	<div data-bbox="589 384 1305 863" data-label="Image"> </div> <p><i>Ilustración 7. Arado de cincel parabólico con alerones cortadores. Fuente [32].</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Características <table border="0"> <tr> <td>Numero de discos:</td> <td>2</td> <td>-</td> <td>3</td> <td>-</td> <td>5</td> <td>-</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Peso Implemento (Kg):</td> <td>220</td> <td>-</td> <td>270</td> <td>-</td> <td>500</td> <td>-</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>Potencia requerida (HP):</td> <td>60</td> <td>-</td> <td>90</td> <td>-</td> <td>150</td> <td>-</td> <td>210</td> </tr> <tr> <td>Profundidad de trabajo (Mts):</td> <td colspan="7">0.60</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> • Usos <p>Los cincelos o arrancadores tienen puntas agudas, dientes de metal que pueden ser fácilmente colocados en el timón del arado.</p> <p>Por lo general, los agricultores que desean evitar la arada en actividades mínimas o reducidas de preparación de tierras usan los cincelos.</p> <p>También son conocidos como arados de corte horizontal, son implementados para la tecnología conservadora de roturación sin inversión del suelo, o sea sin generar un volteo de la tierra como el de disco, con lo cual se asegura en la superficie la capa más fértil del suelo.</p>	Numero de discos:	2	-	3	-	5	-	7	Peso Implemento (Kg):	220	-	270	-	500	-	600	Potencia requerida (HP):	60	-	90	-	150	-	210	Profundidad de trabajo (Mts):	0.60						
Numero de discos:	2	-	3	-	5	-	7																										
Peso Implemento (Kg):	220	-	270	-	500	-	600																										
Potencia requerida (HP):	60	-	90	-	150	-	210																										
Profundidad de trabajo (Mts):	0.60																																

La tecnología de corte horizontal con multi-arado consume hasta un 50% menos de fuerza tracción que los arados de vertedera.

Renovador de praderas



Ilustración 8. Renovador de praderas. Fuente [33].

- Características

Numero de discos:	2	-	3	-	4	-	5
Peso Implemento (Kg):	220	-	300	-	380	-	460
Potencia requerida (HP):	50	-	75	-	100	-	125
Profundidad de trabajo (Mts):	0.40						

- Usos

Se trata de un arado cuyos órganos de corte y volteo son discos en forma de casquete esférico que giran alrededor de ejes unidos a un bastidor. Estos ejes forman un determinado ángulo con respecto a la dirección de avance, encontrándose también inclinados con respecto al plano horizontal.

La tierra que es cortada por el disco lo presiona y le hace girar. El disco entonces arrastra y eleva el suelo que toma cierta altura siendo desviada la trayectoria permitiendo que estas caigan al fondo del surco provocando así el volteo de la tierra

En algunos casos a los discos los antecede una pequeña vertedera que ayuda en el volteo de la tierra. La diferencia del

	<p>arado de disco del arado de rastra, es que en el primer caso el disco tiene su propio eje.</p>								
<p>Arado de cincel doble resorte</p>	<div data-bbox="500 331 1341 688" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="500 730 959 783"><i>Ilustración 9. Arado de cincel doble resorte. Fuente [34].</i></p> <ul data-bbox="548 825 808 856" style="list-style-type: none"> • Características <table data-bbox="500 898 1333 1045"> <tr> <td>Numero de discos:</td> <td>2 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 13</td> </tr> <tr> <td>Peso Implemento (Kg):</td> <td>180-260-420-510-790-910-1100</td> </tr> <tr> <td>Potencia requerida (HP):</td> <td>25-35-60-80-110-130-160</td> </tr> <tr> <td>Profundidad de trabajo (Mts):</td> <td>0.30 - 0.40</td> </tr> </table> <ul data-bbox="548 1087 670 1119" style="list-style-type: none"> • Usos <p data-bbox="500 1161 1385 1266">Son de gran utilidad para afinar la terminación de la cama de semilla. Las dos primeras se usan para controlar la maleza que está creciendo.</p> <p data-bbox="500 1308 1385 1413">Al igual que las rastras combinadas, es deseable que operen a altas velocidades para obtener un buen mullimiento del suelo y erradicar la maleza.</p> <p data-bbox="500 1455 1385 1602">Los rodillos, ya sean lisos o corrugados, de acción superficial o sub-superficial, buscan completar el mullimiento del suelo y compactar la cama de siembra para la firmeza que necesita para soportar la unidad sembradora.</p>	Numero de discos:	2 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 13	Peso Implemento (Kg):	180-260-420-510-790-910-1100	Potencia requerida (HP):	25-35-60-80-110-130-160	Profundidad de trabajo (Mts):	0.30 - 0.40
Numero de discos:	2 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 13								
Peso Implemento (Kg):	180-260-420-510-790-910-1100								
Potencia requerida (HP):	25-35-60-80-110-130-160								
Profundidad de trabajo (Mts):	0.30 - 0.40								

Grada de
discos
independientes



Ilustración 10. Grada de Discos Independientes.
Fuente [35].

- Características:

Modelo : Optimer 300

Tipo: Suspendido

Numero de discos: 24

Diámetro de discos (mm): 460

Potencia min. del tractor (kW/CV): 66/90

Potencia máx. del tractor (kW/CV): 110/150

- Uso

Por su diseño, y tipo de labor se ubica entre el arado de disco y el de rastra de disco, es decir, los discos están montados en un único bastidor o chasis, casi igual que los arados, pero todos los discos están a menor distancia entre sí, son verticales y solidarios en un eje (no son independientes como en el arado de disco) como ocurre si ocurre en el de rastra de disco.

Sirven tanto para labores primarias como secundarias aunque son típicos arados rastrojeros. Hace una labor similar al arado de discos, pero se diferencia por tener menos profundidad de trabajo y porque queda una mayor cobertura en la superficie, favorecido por la mayor proximidad entre los discos.

Se utiliza para suelos livianos (arenosos o sueltos), y con la misma potencia de tractor se logra un mayor ancho de trabajo que con el arado de disco debido a la menor penetración de estos.

	<p>El diámetro de los discos varía entre 22 y 24 pulgadas, es decir de 560 a 610 mm, el espesor es de 5 mm. La separación entre ellos de 200 a 250 mm. El eje toma un ángulo de 35° a 45° respecto a la dirección de avance.</p> <p>Es utilizado frecuentemente combinado con una tolva sembradora (cajón sembrador) para arar y sembrar en una sola operación, en lo que se llama mínima labranza. La ventaja del uso de este arado es que deja mayor cantidad de residuos en superficie, de manera que evita la erosión eólica por dejar el suelo cubierto de residuos vegetales y por la misma razón reduce la erosión hídrica (efecto golpeteo) ya que protege al suelo de la acción erosiva de las gotas de agua (planchado del suelo).</p>
--	--

Tabla 1. Características y usos de los diferentes sistemas de labranza desarrollados en Colombia.

1.2 ESPECIFICACIONES Y CARACTERIZACIÓN DE ARADOS (MARCO TEÓRICO)

1.2.1 PREPARACIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA

La preparación del suelo se encuentra enfocada en la transformación de las condiciones físicas del suelo, como la maleza, piedras u obstrucciones que puedan impedir el crecimiento de los cultivos. El principio básico de la preparación del suelo se basa en establecer la relación entre el suelo, el aire y el agua, como factores determinantes en el desarrollo de la agricultura.

Los objetivos principales en la preparación del suelo son [36]:

- Crear medios para la circulación del agua y del aire, facilitando el desarrollo del cultivo.
- Controlar las malezas, las cuales compiten por los nutrientes del cultivo.
- Eliminar los insectos presentes en el cultivo tales como (Plagas, larvas, huevos).
- Generar escenarios óptimos de mullimiento¹ del suelo para la germinación de la semilla.
- Incorporar residuos vegetales y fertilizantes orgánicos promoviendo la actividad bacteriana y orgánica.

1.2.1.1 Preparación del suelo

¹ El mullimiento refiere a la relación entre el tamaño y la consistencia del suelo para el desarrollo óptimo de cultivos.

La preparación del terreno es un conjunto de actividades que tiene como objetivo preparar una buena cama de siembra, que asegure la germinación y emergencia de la semilla, sin embargo, ello no depende sólo de la forma en que se realice la preparación de la cama, sino de las características físicas y genéticas de la semilla, así como de la manera en que se deposite en la cama de siembra [37].

El proceso de labranza, es uno de los componentes de mayor importancia para la preparación de un cultivo, si bien la etapa de siembra está limitada por la climatología a la hora de la germinación y el tipo de planta que se desea cultivar. La preparación debe planificarse con anterioridad, con la finalidad de aprovechar la época de cultivo. Suele presentarse atrasos determinados por lluvias en época de invierno a su vez por la humedad excesiva presente en el suelo, impidiendo que se lleve a cabo el proceso de labranza, asimismo limitando el tiempo para preparar el suelo.

En el proceso para la preparación de un cultivo por lo general se estipulan las fechas de siembra establecidas en dos periodos que son: temporal y de riego. La siembra temporal inicia con la presencia de lluvias y el ciclo de riego inicia al finalizar el ciclo temporal. Se recomienda comenzar las labores de preparación del suelo en otoño. Esta temporada es variable de una región a otra.

1.2.1.2 Erosión del suelo

El proceso de siembra se encuentra asociado con el uso de herbicidas en el suelo, acción que atrae consecuencias negativas. Se define como la degradación del suelo, causada por agentes químicos, físicos, biológicos [38].

El laboreo excesivo en los cultivos agrícolas, el riego excesivo, la eliminación de la cobertura vegetal, y el arado en tierras marginales afectan en gran medida el terreno. Por esta razón es necesario la innovación en nuevas técnicas de cultivo que ayuden a mitigar la erosión en los suelos e incrementar la capacidad de infiltración, permitiendo la optimización del agua, evitar la compactación y mantener los nutrientes del suelo en estado favorable para la siembra [39].`

1.2.2 TIPOS DE LABRANZA

Cada uno de estos sistemas considera en mayor o menor grado tanto la labranza primaria como la secundaria [40].

1.2.2.1 Labranza convencional o Tradicional

Se emplea en la mayoría de los casos entre 5 y 8 operaciones y puede incluir los siguientes equipos: corta maleza; arados, rastras, rastrillos, cinceles y niveladoras.

1.2.2.2 Labranza mínima o reducida.

Con menos pases de herramientas, respecto a la labranza convencional. Sus modalidades son: Supresión de operaciones o labores, reducción de las mismas e integración de equipos.

1.2.2.3 Labranza vertical

Se hace con cinceles y/o subsolador para "aflojar" las capas compactas y/o endurecidas.

1.2.2.4 Labranza de conservación

Cualquier sistema de labranza y de siembra en la cual por lo menos un 30% de la superficie del suelo queda cubierta por residuos de plantas después de la siembra, con el fin de controlar la erosión.

1.2.2.5 Labranza cero o siembra sin labranza (siembra directa)

La siembra mecanizada directamente sobre las socas de cultivos anteriores, sobre rastrojos o pastos; utilizándose para tal fin sembradoras especiales.

1.2.3 ARADOS

Es una herramienta de labranza agrícola que tiene como finalidad abrir surcos y remover el suelo antes de sembrar las semillas. Su característica principal es la separación y el volteo de la tierra, de forma que cualquier vegetación o estiércol que se encontrase en la superficie queda en terrada y una parte del suelo que se hallaba a una determinada profundidad se lleva a la superficie donde queda expuesta a los agentes atmosféricos [41].

En un principio el proceso de arado era realizado por personas que tiraban de este, luego se pasó a utilizar caballos o bueyes y hoy en día se dispone de un "motor". El hecho de arar aumenta la porosidad, generando una ayuda en el crecimiento de las plantas.

1.2.3.1 Arados de rejas y vertedera

Posterior al trabajo de subsolado y como una manera de aumentar el grado de mullimiento de suelo, e incorporar residuos, es recomendable trabajar el suelo con un arado de vertedera (Ilustración 11), para alcanzar una aradura

profunda. Este equipo está formado por la reja y las vertederas. Todas estas partes, que en conjunto producen la inversión del suelo. La actividad de este equipo está condicionada a la profundidad de la capa arable, es decir si el suelo tiene más de 50 a 60 centímetros de profundidad, se justifica su uso [8].



*Ilustración 11. Arado de vertedera reversible en su labor de inversión de suelos.
Fuente [8].*

1.2.3.2 Arados de discos

Las rastra de disco fueron implementos de labranza muy aceptados por los agricultores que la utilizaban para preparar la tierra bajo cualquier condición del suelo. Actualmente las rastras de discos se utilizan principalmente para la labranza secundaria del suelo; sin embargo aquellas rastras de discos de gran peso y tamaño tipo Rome Plaw se utilizan en la labranza primaria. La rastra de disco son aperos de formas muy diversas cuya finalidad es allanar el terreno en su capa superficial. Con este tipo de implemento se consigue, además de eliminar las malas hierbas existentes, romper la costra y mullir la capa superficial, provocando su aireación [42].

Durante su trabajo, el disco gira sobre el eje que lo soporta, situado perpendicularmente al centro del casquete, impulsado por la fuerza de la banda de suelo cortadora [19].

1.2.3.3 Arado de rastras

Por su diseño, concepción y tipo de labor resultan intermedios entre el arado de discos y la rastra de disco, es decir, los discos son de tamaño grande y están montados en un único bastidor o cuerpo (chasis), asemejándose a los arados, pero todos los discos están a menor distancia entre sí, 15 son verticales y solidarios en un eje (no son independientes como en el arado de discos) como en el caso de las rastras. Sirven tanto para labores primarias como secundarias aunque son típicos arados rastrojeras [41].

El arado rastra hace un trabajo similar al arado de discos, pero se diferencia por ser menos profundo y por generar una mayor cobertura en la superficie del terreno (esto está también favorecido por la mayor proximidad entre los discos).

1.2.3.4 Arado de cinceles

El arado de cinceles es un apero utilizado para disgregar capas compactas a profundidades hasta de 40 cm y para labrar el suelo de forma vertical o profunda, roturando el suelo y llevándolo a estados aceptables para la siembra en una o varias pasadas. Esta herramienta impacta de forma mínima la estructura del suelo; dejando residuos de cosecha o vegetación en la superficie, conservando la humedad del suelo y reduciendo la erosión. Se trata de la labranza más aconsejable para suelos tropicales como los colombianos [43].

1.2.3.4.1 Arados de cincel rígidos

El Arado de cincel rígido es un implemento que consta de una estructura tubular en la que están empotrados cinceles parabólicos, con sus respectivas puntas. Adicionalmente este tiene dos ruedas para el control de profundidad del arado.

Los cinceles del Arado de cincel rígido tienen en su extremo una punta. Esta es la herramienta de corte y por lo tanto es el elemento de mayor desgaste. Esta es reversible y se utiliza por ambos lados.

Esta punta está sujeta al cincel por medio de un pasador flexible, el cual hace que esta se mantenga en su sitio durante el transporte del equipo.

Sin embargo, este pasador no evitará que la punta se salga del cincel si se da marcha atrás con los cinceles dentro de la tierra.

Las puntas del Arado de cincel rígido son fabricadas especialmente para este implemento, por lo que usted no debe reemplazarlas por otras diferente a las originales. Esto le puede causar daños al implemento, y hacer que pierda su garantía de fábrica [44].

1.2.3.4.1.1 Versiones disponibles

El Arado de cincel rígido se fabrica en tres versiones: 3, 5 y 7 cinceles. Estos se diferencian no solo en el número de cinceles sino también por la separación entre ellos. Mientras en el arado de 3 cinceles la separación es de 60 cm, en los de 5 y 7 la separación es de 45 centímetros.

1.2.3.4.1.2 Requerimiento de potencia

En terrenos promedio, el Arado de cincel rígido requiere una potencia entre 15 y 20 HP por cincel. Para terrenos endurecidos o trabajos por encima del nivel del mar, es necesario aumentar estos requerimientos según sean las condiciones.

1.2.3.4.1.3 Velocidades de trabajo

Recomendamos una velocidad entre 7 y 8 km. por hora.

1.2.3.4.1.4 Profundidad de trabajo

El Arado de cincel rígido permite trabajar con profundidades de cero hasta cuarenta y cinco (45) centímetros. Las ruedas de profundidad le permiten graduar la profundidad de trabajo a 20 o 30 centímetros. Si usted desea trabajar a profundidades mayores, puede quitarle las ruedas al arado.

1.2.3.4.2 Arado de cincel vibratorio

Es un implemento que consta de varios cinceles vibratorios montados sobre un marco que es fabricado en una estructura tubular, es un implemento diseñado para lograr un mayor rendimiento en el crecimiento de los cultivos, debido a que, consigue una mayor velocidad de trabajo, rompe la compactación del suelo y permite el paso de agua, aire y luz [45].

1.2.3.4.2.1 Versiones disponibles

El Arado de cincel vibratorio fabrica en cinco versiones de alce (2, 5, 7, 9 y 11 cinceles) y en tres versiones de tiro (11, 13 y 15 cinceles).

1.2.3.4.2.2 Requerimiento de potencia

En terrenos promedio, con una profundidad de trabajo de 30 a 40 centímetros, el arado requiere una potencia neta aproximada de 10 HP por cincel. Para terrenos endurecidos o para trabajos por encima del nivel del mar, es necesario aumentar estos requerimientos según sean las condiciones se llega a requerir una potencia entre 15 y 20 HP por cincel.

1.2.3.4.2.3 Velocidades de trabajo

Por sus características el arado de cincel vibratorio se debe operar a velocidades superiores a los arados tradicionales. Esto significa un ahorro tanto en combustible como en horas de trabajo. Una buena velocidad de trabajo es favorable pues aumenta la vibración del gancho.

Estudio realizados por la empresa INTALL INTERAGRO recomienda:

- Velocidad en terrenos duros ⇒ 4 a 7 km/hora
- Velocidad en terrenos blandos ⇒ 7 km/hora en adelante

1.2.3.4.2.4 Profundidad de trabajo

El Arado de cincel vibratorio permite trabajar con profundidades de cero hasta cuarenta centímetros (40). Aunque físicamente es posible profundizar más el gancho, no se recomienda, pues disminuye la acción vibratoria del cincel y aumenta significativamente los requerimientos de potencia. Cuando el terreno ha sido trabajado previamente con arados tipo cincel se recomienda profundidades entre 20 y 30 centímetros dependiendo del cultivo.

Cuando el terreno sólo ha sido trabajado con implementos de disco se recomienda una profundidad menor para la primera pasada, sólo la suficiente para romper la capa endurecida o pie de arado (hard-pan) normalmente entre 10 y 20 cm de profundidad.

1.2.3.5 Materiales para la construcción de arados

El arado es uno de los primeros inventos de la humanidad y se remonta aproximadamente a unos 3000 años antes de Cristo, en donde son creados los primeros arados de mancera, cuyo nombre proviene de la pieza curva por donde se empuña el arado para ser guiado, dichos arados de madera eran formados por una rama de forma adecuada que pudieran ser operados por tracción humana. Este invento comenzó a tener tracción por bueyes hace unos 5500 años, en donde los arados eran fabricados con ramas en forma de horquillas [46].

Los romanos introdujeron el arado con cuchillas de hierro, también tirados por bueyes con el fin de facilitar la penetración en la tierra. En la edad media Europa comienza a utilizar arados de rejas y cuchillas, implementando así el arado diseñado por Rotherhan el cual fue construido en Inglaterra en 1730, su forma triangular redujo la fuerza de tiro por lo que se pudo adaptar de una mejor manera para ser halado por caballos, este arado fue construido por el holandés Joseph Foljambe y es aquí en donde se marca o se da pie a la fabricación industrial de los arados.


El primer arado construido totalmente de hierro lo realizó el inglés Robert Ransome en 1808. En Francia, en 1825 un herrero de Aisne, conocido como Fonduer, construye el primer arado metálico con juego delantero.

Para la década de 1830 el herrero estadounidense John Deere inventó la reja de los arados, de acero. Después se inventó el arado de dos ruedas con asiento para el conductor, y más adelante el arado de discos, que apareció en 1847 en Estados Unidos.




En 1877 John Shearer & Sons construyó otro modelo de arado de discos que fue recibido con gran éxito en Australia. La llegada del tractor a vapor permitió aumentar la cantidad de órganos de los arados de discos y de vertederas, así como la velocidad de trabajo, lo que ha facilitado enormemente las tareas agrícolas.


La llegada y evolución del tractor junto con los avances tecnológicos han generado un rendimiento basado en la implementación de menores esfuerzos y un ahorro en la mano de obra. Claro está que todavía encontramos en el sector agrícola el uso de arados de mancera debido a la falta de apoyo de las industrias y la falta de querer “progresar en tecnología” por los trabajadores de la tierra.

En la tabla 2, se encuentra almacenada la información de forma cronológica en la cual se identifica la forma de tracción, material de construcción e información anexa con el fin de resaltar lo más relevante de la documentación realizada anteriormente.

Lugar de fabricación – Nombre del sistema	Forma de tracción	Material de construcción	Información anexa
Arada de mancera 	Humanos	Madera	3000 años antes de Cristo
Arado implementado en Mesopotamia	Humanos Bueyes	Ramas en forma de horquillas	5500 años atrás.

			
<p>Arado implementado por los romanos</p>  	<p>Bueyes</p>	<p>Cuchilla de hierro</p> <p>Madera</p>	<p>5000 años atrás.</p>
<p>Arados implementado en Europa – Arado de rejas y cuchillas</p>	<p>Caballos</p>	<p>Hierro</p> <p>Madera</p>	<p>Fue diseñado por Rotherhan en Inglaterra en 1730</p> <p>Fue construido por el holandés</p>

			Joseph Foljambe.
<p>Arado de hierro</p> 	Caballos	Completamente fabricado en hierro	Fue realizado por el inglés Robert Ransome en 1808
<p>Arado de hierro</p>	Caballos	Primer arado metálico con juego delantero.	En 1825 en Francia por Fonduer
<p>Arado de reja</p> 	Tracción animal	Acero	En la década de 1830 por John Deere

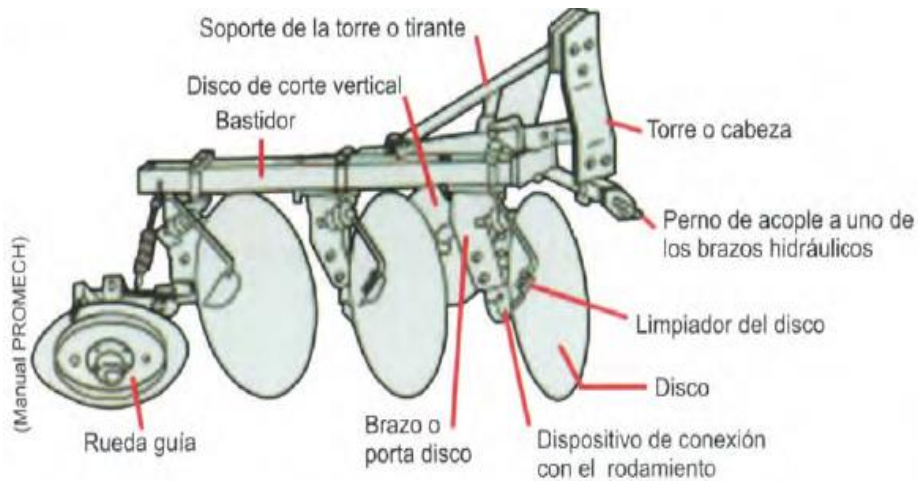
<p>Arados de dos ruedas</p>	<p>Tenía asiento para el conductor</p>	<p>Acero</p>	<p>En la década de 1830 por John Deere</p>
<p>Arado de discos</p> 	<p>Tracción animal</p>	<p>Acero</p> <p>Chapa de acero laminada, la cual es estampada y tratada térmicamente para conseguir la dureza superficial necesaria para disminuir los posibles desgastes, sobre todo del borde.</p>	<p>En 1847 por John Deere en Estados Unidos</p>
<p>Modelo de arado de discos</p>	<p>Tracción por tractor</p>		<p>En 1877 John Shearer.</p> <p>En Australia.</p>

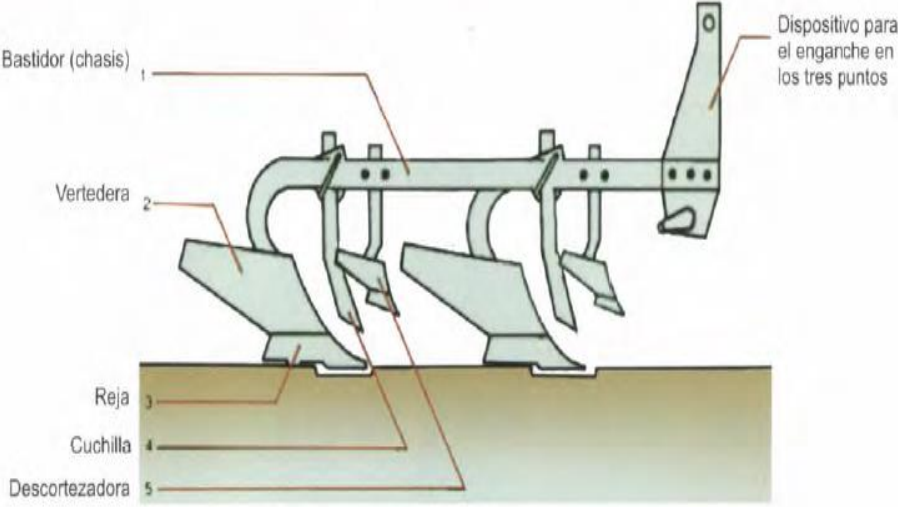

			Aumento la cantidad de discos y de vertederas.
Arados de cincel	Tracción por tractor	Es de acero y en algunos casos está reforzada (acorazada) para evitar un rápido desgaste.	

Tabla 2. Materiales para la construcción de arados.

1.2.4 DESPIECE DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ARADO

En la tabla número 3. Se encuentra almacenada información acerca de la composición o forma en la que son construidas las diferentes máquinas de labranza, en la cual se pretende identificar las partes principales de cada mecanismo.

Sistema de arado	Características
Arado de disco	 <p>Soporte de la torre o tirante Disco de corte vertical Bastidor Torre o cabeza Perno de acople a uno de los brazos hidráulicos Limpiador del disco Disco Dispositivo de conexión con el rodamiento Brazo o porta disco Rueda guía (Manual PROMECH)</p> <p><i>Ilustración 12. Despiece arado de disco. Fuente [47]</i></p>

<p>Arado de vertedera</p>	 <p>Fig. 57. Partes del arado de vertedera.</p> <p><i>Ilustración 13. Despiece arado de disco.</i> Fuente [47]</p>
<p>Arado de Cincel</p>	 <p><i>Ilustración 14. Despiece arado de cincel.</i> Fuente [47]</p>
<p>Rastra pesada</p>	

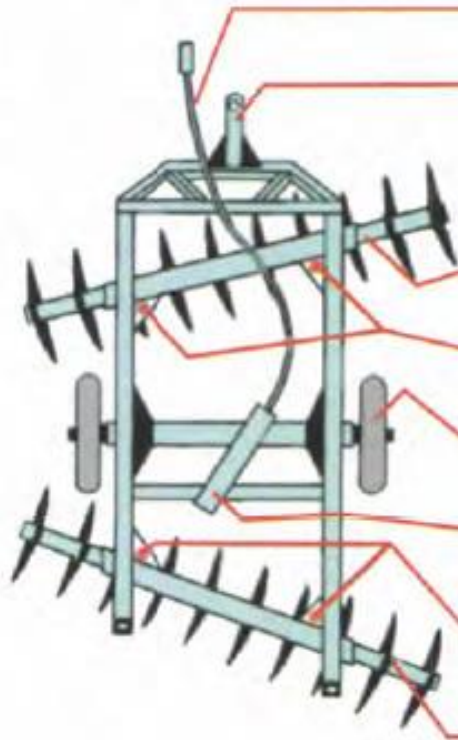
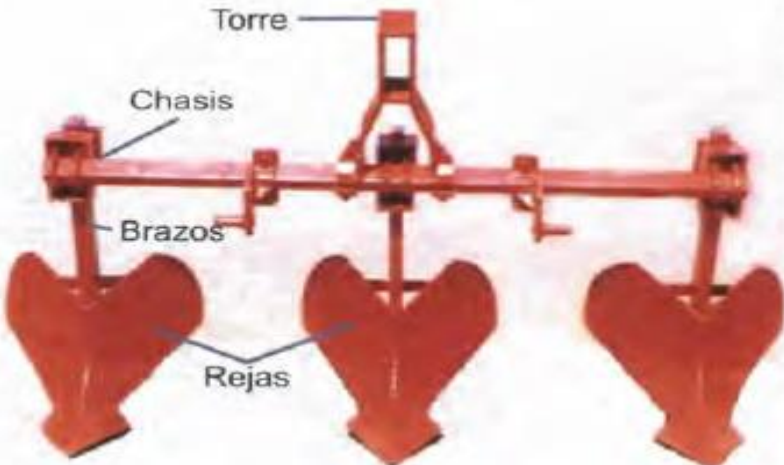
	 <p>Mangueras para acoplar sistema hidráulico del tractor.</p> <p>Barra de acoplamiento.</p> <p>Eje delantero de cuerpos de disco.</p> <p>Mecanismo para ajustar la inclinación horizontal del eje delantero.</p> <p>Eje con dos llantas para el transporte.</p> <p>Cilindro hidráulico para levantar la rastra para transportar.</p> <p>Mecanismo para ajustar la inclinación horizontal del eje posterior.</p> <p>Eje posterior de cuerpos de disco.</p> <p><i>Ilustración 15. Despiece de una rastra pesada.</i> Fuente [47]</p>
<p>Surcador</p>	 <p>Torre</p> <p>Chasis</p> <p>Brazos</p> <p>Rejas</p> <p><i>Ilustración 16. Despiece de un surcador.</i> Fuente [47]</p>

Tabla 3. Despiece de los diferentes tipos de Arados.

La siguiente información es obtenida del Manual de PROMECH [48], en el cual se encontraron características, usos, despiece de las partes, materiales y algunas recomendaciones. La información fue leída y resumida con el fin de sustraer lo más relevante para el documento y la investigación.

Arado de disco

- Características

El suelo y rastrojo se cortan y se mueven con acción de rodillo. Los discos producen una acción mezcladora más que de inversión.

Son una serie de discos rotatorios montados individualmente en un armazón, cóncavos, con la profundidad de trabajo controlada por ruedas o el sistema hidráulico del tractor.

Para conseguir profundidad de arado se requiere ajuste del ángulo del disco y peso del armazón.

Debe operarse a velocidad uniforme y lenta.

Velocidades altas tienden a reducir profundidad.

Penetración del disco y velocidad de rotación se controlan con posición de disco.

Se debe ajustar adecuadamente la rueda guía para permitir un buen trabajo de aradura, además absorbe el empuje lateral del suelo contra los discos (efecto izquierda) por lo que mantiene un corte uniforme y asegura su funcionamiento en línea recta.

- Disco: Constituyen el elemento fundamental, debido a que este realiza el trabajo. Son casquetes que tienen un diámetro y diferentes radios de curvatura, que se adaptan a las distintas labores, tipos de suelos y potencias de tracción existentes.

Los discos se construyen a partir de una chapa de acero laminada, la cual es estampada y tratada térmicamente para conseguir la dureza superficial necesaria para disminuir los posibles desgastes, sobre todo del borde

- Brazo porta-disco o cama: Se trata de un conjunto de elementos que unen el disco con el bastidor del arado
- Rasqueta: Es una reja situada en el interior del disco, y su misión es ayudar al desprendimiento de la tierra que queda adherida. No se debe confundir un una vertedera que antecede al disco con el fin de mejorar el volteo de la tierra.

- Rueda trasera: Situada en la parte posterior, y su objetivo es mantener la estabilidad en el sentido de trabajo. Esta rueda posee cierta inclinación sobre el fondeo del surco de esta manera permite asentar mejor el arado, también es la encargada de absorber el empuje lateral realizado por el terreno sobre el disco.

Algunas veces se le coloca contrapeso a la rueda con el fin de que cuando la penetración es difícil, sobre todo en suelos duros. Estos contrapesos también ayudan a que se mantenga el arado trabajando con mayor estabilidad.

- Rueda de surco: se encuentra en la parte delantera del arado y trabaja sobre el surco que realizó el último en la pasada anterior.
- Rueda de rastrojo: Es la que rueda sobre el terreno que aún no ha sido trabajado.

Arado de cincel:

- Características:

Herramienta ideal para el cultivo con cobertura vegetal.

Tracción requerida puede llegar a ser la mitad de uno de vertedera, por lo que la velocidad puede ser mayor.

Funcionan mejor con suelo seco y firme.

Fracturan y roturan el suelo.

No invierte los terrones de suelo.

- Cincel: Es la pieza que se fija en el extremo del arco y produce la penetración y corte del suelo.
- Arco: Es la pieza, generalmente de acero de muelle, que se sujeta al chasis del arado de modo tal que le sea posible vibrar para resquebrajar el suelo.

Arados de vertedera:

- Características:

La acción de cuña se da en el cuerpo cuando se mueve a través del suelo y ejerce presión hacia arriba y hacia el surco abierto. Este movimiento hace que bloques de tierra sean cortados a intervalos regulares.

Los bloques se deslizan y frotan uno contra otro, moviéndose hacia arriba en la vertedera, causando granulación o desmenuzamiento.

A medida aumenta la velocidad del arado, aumenta la pulverización del suelo.

La mayor parte de granulación se hace con parte inferior de la vertedera.

Están diseñados para correr a nivel y ejercer presión uniforme sobre la franja de tierra.

El ángulo de la franja de tierra está influenciado por la velocidad del arado, curvatura de la vertedera, profundidad del arado y su nivelación.

Arado de Rastra pesada:

- Características:

La velocidad con la que se tiene que operar este implemento, es de 4 a 10 km/h, este intervalo depende del tipo de suelo y las condiciones del suelo.

El ancho de las máquinas puede variar dependiendo del modelo de fabricación, existen desde 0.85 m hasta 8.45 m y más en rastras de varios cuerpos.

Los discos van a variar de 4 a 76 discos.

La profundidad del trabajo va a depender del diámetro de los discos, del peso de la rastra, el tipo de rastra y las condiciones del suelo. Las profundidades oscilan desde 10 a 40 cm. Los diámetros de los discos más comunes son de 51 a 61 cm.

La separación entre discos y el diámetro es importante porque, cuando los discos son de menor diámetro y están menos distanciados, queda más fino el suelo, mientras que si son discos grandes y más distanciados, quedarán terrones más grandes.

1.2.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ARADO

A la hora de seleccionar el tipo de laboreo que resulta más apropiado para realizar la labranza del suelo es necesario tener conocimientos de la labor que se va a realizar, del cultivo que se va a introducir, conocer el tipo de suelo (textura y profundidad), su estructura y su estado en el momento de realizar el labrado (residuos, grado de humedad y grado de apelmazamiento)

En áreas tropicales y sub-tropicales, donde el peligro de erosión causado por las lluvias es alto, los suelos son por lo general pobres y erosionados y las temperaturas son altas por lo que la descomposición tiende a ser más rápida; para estos casos los procesos de labranza son seleccionados con el objetivo de crear una cama de semillas más finas, siendo este su gran objetivo y enfoque primordial los sistemas de labranza son asociados a ciertos procesos de degradación [49].

Tanto el tipo como el número de pasadas o de operaciones de preparación de la tierra suelen determinar la cantidad de los residuos que quedan sobre la superficie del suelo en el que se desea trabajar (Tabla 4). Por ejemplo, la arada y cincel deja menos del 10 por ciento y un cultivador deja entre 50 y 70 por ciento de los residuos intactos sobre la superficie del suelo.

Tipo de preparación de la tierra	Residuos resistentes (%)	Residuos frágiles (%)
Residuos después de la cosecha	80 – 95	70 – 80
Arada	0 – 15	0 – 10
Arada y cincel	0 – 10	0 – 5
Discos (dos operaciones)	15 – 20	10 – 15
Cincel (dos operaciones)	30 – 40	20 – 30
Cultivador (dos operaciones)	40 – 50	30 – 40
Cultivador (una operación)	50 – 70	40 – 60

Siembra directa	80 – 95	60 – 80
-----------------	---------	---------

Tabla 4. Porcentaje de residuos que quedan sobre la superficie del suelo con diferentes actividades de preparación de la tierra.

Fuente [50].

A la hora de seleccionar el tipo de arado para la preparación del suelo es necesario tener conocimiento tanto de las ventajas como desventajas que presenta dicho proceso (Tabla 5), alguna de estas son:

Desventajas	Ventajas
Perdida de la humedad del suelo	<p>Soltar y remover el suelo para crear condiciones favorables a la circulación del agua y gases en la zona arable del suelo, a la vez de facilitar el desarrollo radicular del cultivo que se desea establecer.</p> <p>Generar condiciones óptimas de mullimiento del suelo para la germinación de la semilla.</p> <p>Controlar y destruir las malezas que compiten con el cultivo.</p> <p>Aumentar la capacidad de retención de humedad del suelo.</p> <p>Eliminar aquellos insectos que constituyen plagas, sus larvas, huevos y lugares de desarrollo.</p> <p>Incorporar residuos vegetales, fertilizantes y cal promoviendo un incremento de la actividad bacteriana y un aumento de la materia orgánica.</p>
Limita la infiltración de agua por el sellado de la superficie	
Destruye la estructura del suelo	
Incrementa el riesgo de erosión	
Aumenta los costos operativos	
Alta demanda de energía, tiempo y equipos	

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los procesos de labranza.

Partiendo de la información recopilada en la tabla 5, resulta importante elegir prácticas de preparación de la tierra que se encarguen de proteger los recursos naturales y al mismo tiempo generen una mejor productividad basándose en la reduciendo de los costos.

1.2.6 CONSERVACIÓN DEL SUELO Y LA DIRECCIÓN DE TRABAJO:

Un gran inconveniente luego de realizar la remoción del suelo con los implementos de labranza, es la pérdida del trabajo debido a la remoción que

se puede generar por las corrientes de lluvia o de riego, eliminando así la erosión en el terreno.

Por tal razón si el proceso de labrado es generado por; arado de disco, de vertedera u otra labor que genere surcos en el mismo sentido de la dirección del trabajo, es recomendable desarrollar estas labores en suelos que tengan un ángulo de pendiente pronunciado. De este modo el trabajo de arado no solo consiste en coger una herramienta y generar una erosión también debe contemplar otros aspectos naturales. Por ejemplo, en los procesos de labranza debe contemplarse la dirección de la lluvia la cual baja a grandes velocidades por los surcos arrastrando el suelo y formando grietas casi imposibles de recuperar, creando tanto para el tractor como para los animales de tiro una mayor dificultad para trabajar contra la pendiente (en subida).

Para realizar un proceso de rastraje el cual tiene como finalidad el mullimiento y emparejamiento del terreno, se recomienda realizarlo en una dirección de 45 grados a la línea de aradura; de esta forma se evitara que las ruedas del tractor caigan al mismo tiempo dentro de los surcos atravesados, evitando así la generación de movimientos bruscos que puedan afectar la comodidad del operario y la conservación de la maquinaria, de este manera también se consigue una mejor nivelación por si se desea trabajar en otra dirección. Hay que resaltar que las rastras combinadas y los rodillos pueden ser usados en cualquier dirección debido a que esto no influye en la calidad de su trabajo, ya que para este caso es más importante la velocidad de desplazamiento y el rendimiento del equipo.

1.2.7 SISTEMAS DE ACOPLES

Es conveniente clasificar el tipo de acople para las herramientas de acople posterior, para luego analizar su efecto en el comportamiento del tractor. Tres métodos principales están en uso para el tractor [51]:

1.2.7.1 Herramienta de tiro

La herramienta marcha tirada desde un solo punto, y si bien una parte de su peso puede ser soportado nunca puede ser transportada completamente en el aire.

1.2.7.2 Herramienta semi-integral

La herramienta va acoplada al tractor por dos o más puntos, pero su peso solo es soportado parcialmente durante el transporte; la herramienta se ve afectada directamente por los cambios de la dirección del tractor.

1.2.7.3 Herramienta integral

Uno, dos o normalmente tres puntos acoplan al tractor y las herramientas, las que pueden ser transportadas completamente en el aire.

1.2.8 MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA

El mantenimiento es una actividad íntimamente ligada al buen funcionamiento de cualquier tipo de máquinas y equipo. La razón por la que surge el mantenimiento es hacer que las maquinas cumplan con las funciones para las que fueron creadas, un valor agregado es el hecho de extender la vida útil.

El hecho de realizar un mantenimiento, significa realizar una inversión que si es analizada a largo plazo no será tan costosa como si la maquina resulta averiada por falta de supervisión.

1.2.8.1 Objetivo

Garantizar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos e instalaciones.
Satisfacer los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
Maximizar la productividad y eficiencia [41].

1.2.9 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Hace referencia a la continua, adecuada y oportuna atención que debe dársele a las máquinas, con el fin de garantizar el 100% de su trabajo en las tareas para las que fue diseñada.

1.2.9.1 Mantenimiento correctivo

Comprende el mantenimiento que se lleva con el fin de corregir los defectos que se han presentado en el equipo. Se clasifica en:

No planificado. Es el mantenimiento de emergencia. Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

Planificado. Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente [52].

1.2.9.2 Mantenimiento predictivo

Este mantenimiento está basado en la inspección para determinar el estado y operatividad de los equipos, mediante el conocimiento de valores de variables que ayudan a descubrir el estado de operatividad; esto se realiza en intervalos regulares para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas.

Para este mantenimiento es necesario identificar las variables físicas (temperatura, presión, vibración, etc.) cuyas variaciones están apareciendo y pueden causar daño al equipo. Es el mantenimiento más técnico y avanzado que requiere de conocimientos analíticos y técnicos y necesita de equipos sofisticados [41].

1.2.9.3 Mantenimiento preventivo

Hace referencia a los trabajos e inspecciones incluidas en los manuales de los equipos, es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas, y mantener en un nivel determinado a los equipos, se conoce como mantenimiento preventivo directo o periódico, por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo; se basa en la confiabilidad de los equipos [53].

1.2.10 CALCULOS MATEMATICOS

La capacidad de trabajo teórica, S_t es la que realiza una maquina si trabajara, sin ningún tipo de interrupción, a su velocidad normal de trabajo V , y cubriendo siempre la totalidad de la anchura teórica.

$$S_t = \frac{a * v}{10} \left(\frac{ha}{h} \right) \text{ para } a (m) \text{ y } v \left(\frac{km}{h} \right) \quad (1)$$

La capacidad de trabajo efectiva, S_e , es menor en la utilización práctica de la máquina, como consecuencia de los tiempos gastados en las vuelta en las cabeceras.

El cociente entre la capacidad de trabajo efectiva S_e y la capacidad de trabajo teórica S_t nos da el rendimiento efectivo o de campo N_e

$$N_e = \frac{S_e}{S_T} \quad (2)$$

Finalmente se habla de una variable para contar con una nueva serie de tiempos perdidos en transporte, averías, reposo del personal y otros, la cual se denomina capacidad de trabajo real S_r .

El cociente entre la capacidad de trabajo real y la capacidad de trabajo teóricas da el rendimiento total de trabajo.

$$N_t = \frac{S_r}{S_t} \quad (3)$$

1.2.10.1 Laboreo

Calcular la potencia necesaria para labrar con un arado bisurco, a una profundidad de 25 cm con 30 cm de anchura de surco, a una velocidad de 5 Km/h, en una tierra de resistencia media ($\mu=40$ KPa).

¿La potencia del motor del tractor necesaria para un rendimiento a la barra $\eta_b = 0.5$, si este funciona al 90% de su potencia nominal, será?

Datos necesarios:

$$\text{Profundidad} = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Anchura} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Velocidad} = 5 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$\text{Resistencia media} = 40 \text{ kPa}$$

$$\text{Rendimiento a la barra} = 0.5$$

$$\text{Funciona} = 90\%$$

$$\text{Cantidad de surcos} = 2$$

Cálculos

$$\text{Seccion de labor} = \text{Profundidad} * \text{Anchura} * \text{Cantidad de surcos} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Fuerza de tracción necesaria} \\ = \text{Seccion de labor} * \text{Resistencia media en Pa} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Velocidad del tractor en } \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{Velocidad} * \frac{1000 \text{ metros}}{3600 \text{ segundos}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia a la barra necesaria en W} \\ = \text{Fuerza de tracción necesaria} \\ * \text{Velocidad del tractor en } \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{Potencia motor} = \frac{\text{Potencia a la barra necesaria en kW}}{\text{Rendimiento a la barra} * \text{Funciona}} \quad (8)$$

1.2.10.2 Rendimiento del laboreo y potencia necesaria

Calcular la potencia de un tractor con un arado trisurco de 14" (35 cm de anchura cada reja) que labra un terreno arcilloso en condiciones medias a 28 cm de profundidad y a la velocidad de 6 Km/h.

Datos necesarios:

$$\text{Anchura cada reja} = 14 \text{ In (35 cm)}$$

$$\text{Profundidad} = 28 \text{ cm}$$

$$\text{Velocidad} = 6 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$\text{Cantidad de surcos} = 3$$

$$\text{Resistencia especifica del terreno} = 65 \text{ Kpa}$$

$$\text{Rendimiento a la barra} = 0.60$$

$$\text{Tractor funciona} = 85\%$$

Cálculos

$$\begin{aligned} \text{Seccion de labor} \\ &= \text{Profundidad} * \text{Anchura cada reja} \\ &* \text{Cantidad de surcos} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{Fuerza a la barra necesaria} \\ &= \text{Resistencia especifica del terreno en Pa} \\ &* \text{Sección de labor en m}^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{Potencia a la barra} = \text{Fuerza a la barra necesaria} * \frac{\text{velocidad en m}}{3,6 \text{ seg}} \quad (11)$$

$$\text{Potencia del motor} = \frac{\text{Potencia a la barra en kW}}{\text{Rendimiento a la barra}} \quad (12)$$

Y como normalmente el tractor debe funcionar al 80-90 por 100 de su potencia máxima o nominal, esta deberá ser:

$$\text{Potencia maxima o nominal} = \frac{\text{Potencia del motor}}{\text{Tractor funciona}} \quad (13)$$

1.2.10.3 Arados de vertedera

Se desea determinar el coste de la labor de alzar en una finca de 50 ha con un arado trisurco de vertedera reversible, montado en un tractor de 63 kW (85 CV), que utiliza para labrar el 85% de su potencia máxima. El consumo específico se tomara de 225 g/kW*h. El precio del arado es de 13.736.000 pesos, mientras que el valor de adquisición del tractor es de 60.095.000 pesos. La jornada de trabajo es de 8 horas, y el rendimiento efectivo de la operación es de 0.5 ha/h. Se considera que el jornal del tractorista es de 61.812 pesos/jornada. Valor desecho 10% del valor de la adquisición. Coste del gasóleo 773 pesos/l y del lubricante 10.302 pesos/l.

Datos necesarios:

$$\text{Valor adquisicion tractor} = 60.095.000 \text{ Pesos}$$

$$\text{Valor del desecho del tractor} = 6.009.500 \text{ Pesos}$$

$$\text{Alojamiento} = 75\%$$

$$\text{Potencia a Labrar} = 85\%$$

$$\text{Seguro} = 1\%$$

$$\text{Consumo especifico} = 225 \frac{g}{Kw * H}$$

$$\text{Potencia tractor} = 63 \text{ kW}$$

$$\text{Densidad combustible} = 0.88 \frac{Kg}{l}$$

$$\text{Coste del gasoleo} = 773 \frac{\text{pesos}}{l}$$

$$\text{Coste lubricante} = 10.302 \frac{\text{pesos}}{l}$$

$$\text{Hectareas} = 50ha$$

$$\text{Rendimiento efectivo de la operacion} = 0.5 \frac{ha}{h}$$

$$\text{Valor adquisicion arado} = 13.736.000 \text{ Pesos}$$

$$\text{Valor del desecho del arado} = 1.373.600 \text{ Pesos}$$

$$\text{Entretimiento} = 6.868 \frac{\text{pesos}}{h}$$

$$\text{Jornada tractorista} = 61.812 \frac{\text{pesos}}{\text{jornada}}$$

$$\text{Jornada trabajo} = 8 h$$

Cálculos Tractor

$$\text{Vida util } N = 12 \text{ años}$$

$$\text{Numero de horas utilizacion anual } n = 1000$$

- Gastos fijos

Interes

$$= \frac{N * (\text{Valor adquisicion tractor} + 10\% * \text{Valor adquisicion tractor})}{2 * 100} \quad (14)$$

$$\text{Alojamiento} = \frac{\text{Alojamiento} * \text{Valor adquisicion tractor}}{100} \quad (15)$$

$$\text{Seguro} = \frac{\text{Valor adquisicion tractor}}{100} \quad (16)$$

$$\text{Total de gastos fijos tractor} = \text{Interes} + \text{Alojamiento} + \text{Seguro} \quad (17)$$

- Gastos variables

Amortización

$$= \frac{\text{Valor adquisicion tractor} - 0.1 * \text{Valor adquisicion tractor}}{N * n} \quad (18)$$

$$\text{Combustible} = \frac{\text{Consumo especifico} * \text{Potencia tractor}}{\text{Densidad combustible} * \text{Potencia a Labrar} * \text{Coste del gasoleo}} \quad (19)$$

$$\text{Lubricantes (estimado)} = 0.06 * \text{Coste lubricante} \quad (20)$$

$$\text{Entretimiento} = 0.15 \frac{ha}{h} * \text{Entretimiento} \quad (21)$$

$$\text{Reparaciones} = \frac{0.8 * \text{Valor adquisicion tractor}}{N * n} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{Total gastos variables tractor} \\ = \text{Amortizacion} + \text{Combustible} + \text{Lubricantes} \\ + \text{Entretimiento} + \text{Reparaciones} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} & \text{Coste horaio del tractor (Sin tractorista)} \\ & = \frac{\text{Total de gastos fijos tractor}}{100} \\ & + \text{Total gastos variables tractor} \end{aligned} \quad (24)$$

Cálculos Arado

Vida util N = 15 años

$$\text{Numero de horas utilizacion anual } n = 50 \text{ ha: } 0.5 \frac{\text{ha}}{\text{h}} = 100\text{h}$$

- Gastos fijos

$$\text{Interes} = \frac{N * (\text{Valor adquisicion arado} + \text{Valor del desecho del arado})}{2 * 100} \quad (25)$$

$$\text{Alojamiento} = \frac{\text{Alojamiento} * \text{Valor adquisicion arado}}{100} \quad (26)$$

$$\text{Seguro} = \frac{1 * \text{Valor adquisicion arado}}{100} \quad (27)$$

$$\text{Total de gastos fijos arado} = \text{Interes} + \text{Alojamiento} + \text{Seguro} \quad (28)$$

- Gastos variables

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Valor adquisicion arado} - 0.1 * \text{Valor adquisicion arado}}{N * n} \quad (29)$$

$$\text{Entretenimiento} = 0.5 \frac{\text{h}}{\text{jornada}} * \frac{\text{jornada}}{8 \text{ h}} * \text{Entretenimiento} \quad (30)$$

$$\text{Reparaciones} = \frac{1.30 * \text{Valor adquisicion arado}}{N * n} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} & \text{Total gastos variables arado} \\ & = \text{Amortizacion} + \text{Entretenimiento} + \text{Reparaciones} \end{aligned} \quad (32)$$

Costos

$$\begin{aligned}
 & \text{Coste horario del arado} \\
 & = \frac{\text{Total de gastos fijos arado}}{100} \\
 & + \text{Total gastos variables arado} \quad (33)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Coste horaio de la operacion} \\
 & = \text{Coste horaio del tractor} + \text{Coste horario del arado} \\
 & + \frac{\text{Jornada tractorista}}{\text{Jornada trabajo}} \quad (34)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Coste labor de alzar} \\
 & = \text{Hectareas} * \frac{1}{\text{Rendimiento efectivo de la operacion}} \\
 & * \text{Coste horaio de la operacion} \quad (35)
 \end{aligned}$$

$$\text{Coste por hectárea} = \frac{\text{Coste labor de alzar}}{\text{Hectareas}} \quad (36)$$

1.2.10.4 Arados de disco

Se desea realizar una labor de alzar con un arado bisurco de disco reversible de 0.6 m de anchura en una parcela de 12 ha. Al acabar el segundo día de trabajo se avería dicho apero, debiendo ser sustituido por un trisurco de disco de 0.9 m de anchura. La velocidad de trabajo para ambos aperos es de 5 km/h, el rendimiento efectivo para la el primer caso es de 0.7 mientras que para el segundo es 0.8, considerando además que la jornada de trabajo es de 8 horas.

Datos necesarios:

$$\text{Anchura} = 0.6\text{m y } 0.9\text{m}$$

$$\text{Hectareas} = 12\text{ha}$$

$$\text{Velocidad del trabajo} = 5 \text{ km/h}$$

$$\text{Rendimiento efectivo} = 0.7 \text{ y } 0.8$$

$$\text{Jornada de trabajo} = 8\text{ha}$$

$$\text{Jornadas} = 2\text{dias}$$

Cálculos Bisurcos

$$\text{Capacidad de trabajo teorica} = \frac{\text{Anchura} * \text{Velocidad de trabajo}}{10} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad de trabajo efectiva} \\ = \text{Capacidad de trabajo teorica} * \text{Rendimiento efectivo} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie labrada en dias} \\ = \text{Jornada de trabajo} * \text{Jornadas} \\ * \text{Capacidad de trabajo efectiva} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie restante por labrar} \\ = \text{Hectareas} - \text{Superficie labrada en dias} \end{aligned} \quad (40)$$

Cálculos en Trisurcos

$$\text{Capacidad de trabajo teorica} = \frac{\text{Anchura} * \text{Velocidad de trabajo}}{10} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad de trabajo efectiva} \\ = \text{Capacidad de trabajo teorica} * \text{Rendimiento efectivo} \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie labrada en dias} \\ = \text{Jornada de trabajo} * \text{Jornadas} \\ * \text{Capacidad de trabajo efectiva} \end{aligned} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie restante por labrar} \\ = \text{Hectareas} - \text{Superficie labrada en dias} \end{aligned} \quad (44)$$

1.2.10.5 Arados de cincel vibratorio

Para determinar el rendimiento de la máquina se utiliza la siguiente fórmula:

R = Rendimiento en Ha/h (Hectáreas por horas)

V = Velocidad avance en Km/h

N = Número de cinceles

$$R = \frac{V * N * 3}{100} \quad (45)$$

1.2.10.6 Arados de cincel rígidos

Ancho de corte y eficiencia de operación

Para determinar el rendimiento de la máquina se utiliza la siguiente fórmula:

R = Rendimiento en Ha/h (Hectáreas por horas)

V = Velocidad avance en Km/h

N = Número de cinceles

A = Ancho de corte en centímetros

$$R = \frac{V * N * A}{1000} \quad (46)$$

CAPITULO 2. DISEÑO CONCEPTUAL

2.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

El presente trabajo se encuentra enfocado en el diseño y rediseño de un sistema de arado, desarrollo que se llevó a cabo mediante la medición de las fuerzas ejercidas por un arado tipo cincel en el proceso de labranza. En este orden de ideas resulta de gran importancia identificar y reconocer algunos aspectos que podían influir en la medición de fuerzas generadas en el proceso del arado, alguno de estos aspectos son: la velocidad, potencia y algunas características del tractor, distancia de trabajo, ancho del arado, ángulo de ataque, profundidad de trabajo, terreno, densidad del terreno, altitud, temperatura, humedad del suelo y resistividad.

Una fuerza es la acción que ejerce un cuerpo sobre otro y tiende a generar un movimiento, debido a las variaciones en su velocidad o dirección. Un ejemplo del diario vivir es la fuerza que ejerce la gravedad: se parte de la influencia de la fuerza que ejerce la tierra sobre los cuerpos. Ejemplo, una hoja flota en el aire bajo la influencia de la gravedad, el movimiento de esta hoja se encuentra direccionado hacia el centro de la tierra. En donde la aceleración (es una magnitud vectorial que nos indica la variación de la velocidad por unidad de tiempo), depende de la masa del objeto [54].

$$\text{Fuerza (F)} = \text{masa (m)} * \text{aceleración (a)} \quad (47)$$

Donde **m** es la masa (no el peso) de un objeto en kilogramos (Kg) y **a** es la aceleración de un cuerpo en unidades de distancia (metros) por segundo al cuadrado (m/seg²).

Cuando un cuerpo se encuentra sometido ante el campo gravitacional generado por la tierra, el término **a** pasa a ser **g** con un valor aproximado de 9.8 m/s² a nivel del mar y **F** llega a ser el peso del cuerpo. Al solucionar la ecuación 47 las unidades pasan a ser los Newton (N) que es lo mismo que tener 1 Kg*m/seg².

2.2 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

En el proceso de diseño y rediseño de un sistema de arado (en este caso arado tipo cincel) para pequeños o medianos agricultores, fue necesario realizar un experimento en el cual se pretendió medir las fuerzas generadas por el cincel en el proceso de labranza. El experimento tuvo como objetivo identificar el valor numérico de la máxima fuerza que genera el suelo sobre la herramienta con ánimos de poder realizar simulación mediante elementos

finitos y permitir generar modificaciones bien sea en su geometría, mecánica de corte y/o espesor, etc.

En el desarrollo del experimento resulto de gran importancia identificar y reconocer algunos aspectos que podían influir en la toma de datos durante el desarrollo de las pruebas, alguno de estos aspectos son: la velocidad, potencia y algunas características del tractor, distancia de trabajo, ancho del arado, ángulo de ataque, profundidad de trabajo, terreno, densidad del terreno, altitud, temperatura, humedad del suelo y resistividad.

En la tabla 6 se observan algunas de las características del tractor con el que fueron desarrolladas las pruebas de campo.

Sección	Característica	John Deere (Tractor 5403)
Potencia	Potencia del motor a régimen nominal	48 kW (64 hp)
	Potencia a la TDP a régimen nominal	41 kW (55 hp)
Motor	Modelo	3029T
	Arranque	Eléctrico de 12V, con llave de contacto
	Lubricación	A presión
	Rango de régimen con potencia constante	2200 - 2400 rpm
Transmisión	Tipo	2400 rpm
	Marchas	9 avance y 3 retroceso
	Traba de diferencial trasero	Accionada por pedal y destrabe automático
	Toma de potencia	Tipo Independiente
Levante de 3 puntos	Accionamiento	Mecánico
	Régimen estándar	540 rpm
	Régimen motor a reg. nominal de la TDP	2400 rpm
	Categoría	II
Sistema eléctrico	Capacidad máxima de levante	2000 kgf
	Capacidad de levante a 610 mm del enganche	1383 kgf
	Tensión	12 V
	Alternador	40 A
	Batería	80 Ah

Tabla 6. Características del tractor utilizado para las pruebas.

Fuente [55].

En la tabla 7 se encuentran almacenados los datos bajo los cuales fueron desarrolladas las pruebas que permitieron obtener el valor de las fuerzas generadas entre el arado tipo cincel y el terreno.

Tipo de variable	Valor
Velocidad del tractor	5 km/h (aprox.)
Distancia a labrar	50 metros
Profundidad de trabajo del arado	0.20 metros (aprox.)
Angulo de ataque	30 grados
Terreno de trabajo	Suelo liviano
Densidad del terreno	1.39 g/cm ³
Humedad del suelo	93.6%
Resistividad	0,21- 0.42 Kg/cm ²
Altitud	2558 m.s.n.m
Temperatura	17 ° C

Tabla 7. Delimitación de variables en la toma de datos.

2.3 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Para el desarrollo electrónico de este proyecto se tuvieron en cuenta los siguientes elementos: Tarjeta de adquisición STM32F407VG, envío de datos de forma inalámbrica por medio de XBee PRO S2, medición de fuerza mediante acelerómetro MMA7361.

2.3.1 STM32F407VG



Ilustración 17. Tarjeta de adquisición de datos STM32F407VG.

Fuente [56].

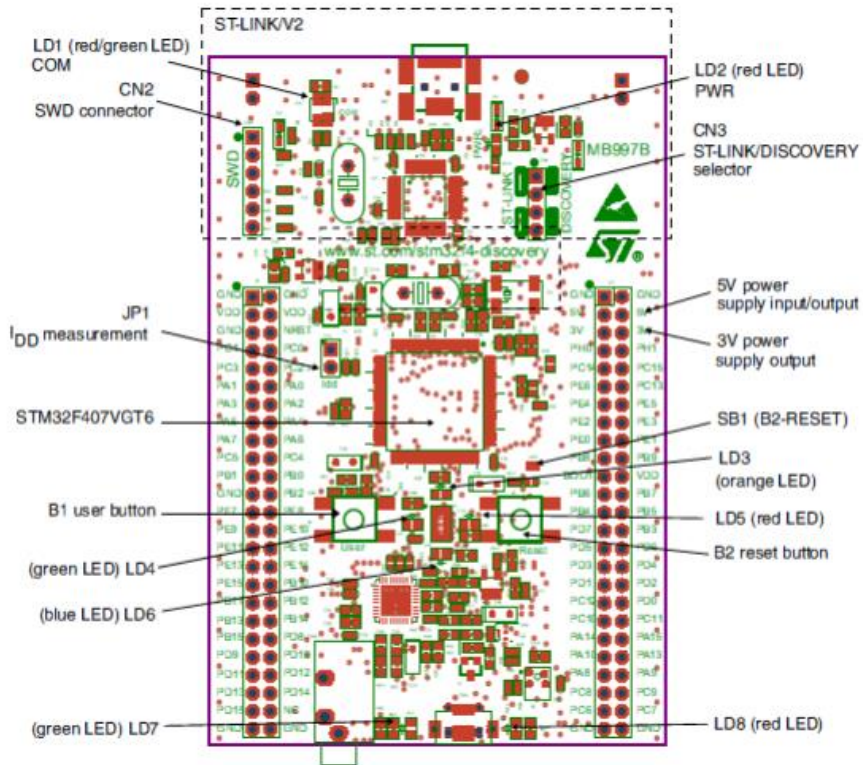


Ilustración 18. STM32F407VG diseño.
Fuente [57].

Para esto se cuenta con la tarjeta STM32F407VG, de [STMicroelectronics](http://www.st.com), el cual es un módulo de adquisición de datos portátil multifuncional, diseñado para aplicaciones médicas, industriales y de consumo, donde se requiere un alto nivel de integración y rendimiento, el cual cuenta con variedad de periféricos. Esta tarjeta reúne las especificaciones técnicas requeridas en este proyecto, además de su bajo costo para las prestaciones y facilidades que ofrece tanto a nivel de hardware como de software

En la tabla número 8 se encuentran consignadas algunas de las características significativas de la tarjeta de adquisición utilizada para el almacenamiento de las fuerzas que se generan entre el terreno y la herramienta de arado.

Microcontrolador	STM32F407VGT6 con 1 MB de memoria flash, 192 KB de RAM, encapsulado LQFP100.
ST-LINK/V2	Incorporado con selector usar el kit como un ST-LINK/V2 independiente (con conector SWD para programación y depuración).

Fuente de alimentación	Por medio del bus USB o desde una fuente de alimentación externa de 5V.
Sensor de movimiento	ST MEMS LIS302DL, acelerómetro con salida digital de 3 ejes
Sensor de audio	ST MEMS MP45DT02, micrófono digital omnidireccional
Audio	DAC CS43L22 con controlador integrado de altavoz clase D
Ocho LEDs	LD1 (rojo / verde) para la comunicación USB LD2 (rojo) alimentación 3,3 V Cuatro LEDs de usuario, LD3 (naranja), LD4 (verde), LD5 (rojo) y LD6 (azul) 2 LEDs USB OTG LD7 (verde), VBus y LD8 (rojo)
Dos pulsadores	Usuario y Reset
USB OTG	Con conector micro-AB

Tabla 8. Características STM32F407VG.
Fuente [58].

2.3.2 XBee PRO S2

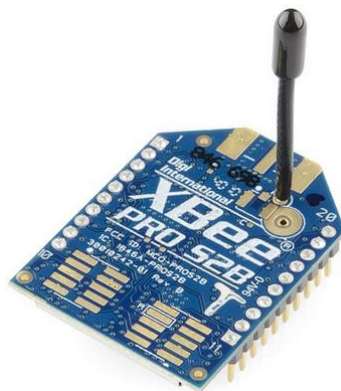


Ilustración 19. XBee PRO S2B.
Fuente [59].

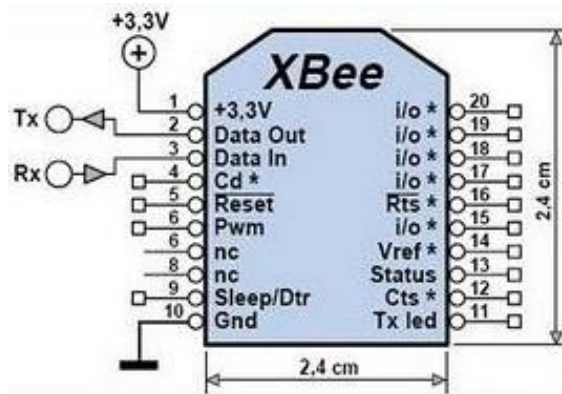


Ilustración 20. XBee PRO S2B diseño.
Fuente [60].

Los módulos XBee son soluciones integradas que proporcionan una solución inalámbrica para la interconexión y comunicación entre dispositivos, basado en el protocolo DigiMesh®, estos módulos resultan prácticos para aplicaciones de largo alcance que requieren un mayor rendimiento de datos. Las XBee no requieren programación y se puede configurar fácilmente mediante el software XCTU®.

En la tabla 9 se encuentra consignada información detallada de este módulo de comunicación inalámbrica.

Alimentación	3.3v
Velocidad de transferencia	250 Kbps Max
Potencia de salida	1mW o 60mW
Alcance	90m o 1500m aprox.
Certificado	FCC
6 pines	ADC de 10-bit
8 pines	Digitales IO
Encriptación	128-bit
Configuración	Local o inalámbrica
Comandos	AT o API

Tabla 9. Características XBee PRO S2B.
Fuente [59], [60].

2.3.3 SELECCIÓN DEL SENSOR

El sensor utilizado para realizar la medición de la fuerza que ejerce el suelo sobre el cincel es captado por medio de un acelerómetro MMA7361.

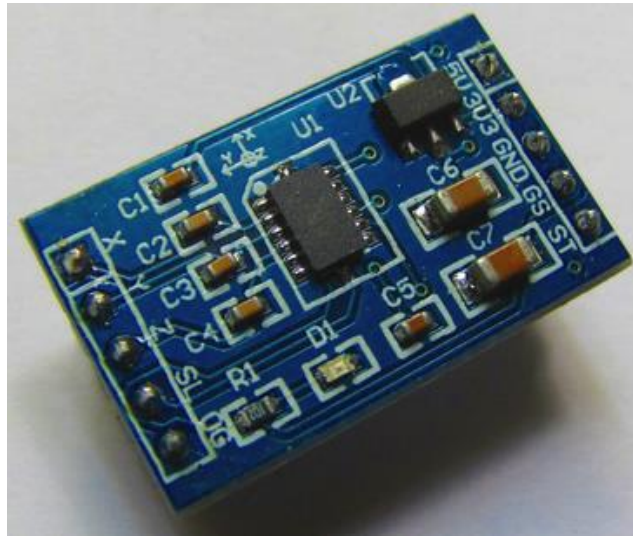


Ilustración 21. Acelerómetro MMA7361.
Fuente [61].

En la tabla 10 se encuentra recopilada información general acerca de cómo operar y polarizar el sensor.

Nombre	Detalles
Descripción	<p>El acelerómetro MMA7361 es un dispositivo con salida analógica de 3 ejes. El sensor puede ser configurado para realizar mediciones entre ± 1.5 g y ± 6g. El sensor incluye otras características que simplifican en gran medida la interfaz con circuitos analógicos y digitales, como filtro pasa bajo, compensación de temperatura y detección de caída libre.</p> <p>La presentación del acelerómetro MMA7361 es una tarjeta apta para realizar prototipos con pines cuya separación es de 0.1" que puede utilizarse en protoboards y tarjetas perforadas.</p>
Características	<p>Acelerómetro con interfaz analógica, requiere 3 canales de ADC en el microcontrolador</p> <p>Rango de medida seleccionable 1.5 y 6g</p> <p>Módulo con regulador de voltaje incluido, puede usarse en sistemas que lo alimentan con 3.3 y 5 volts</p> <p>Capacidad de detección de caída libre (salida digital)</p>

	<p>Filtro pasa bajo en salidas analógicas, compensación de temperatura.</p> <p>Alimentación del MMA7361: 2.2 a 3.6V 400 uA</p>
Calibración	<p>Este sensor detecta de -1G a +1G y tiene dos sensibilidades, seleccionables mediante la activación a señal alta (+3.3V en éste caso) del conector GS (G Select). Con el GS activado, la sensibilidad es de 6G cada 206mV y con el GS desactivado, la sensibilidad es de 1.5G cada 800mV. Para calibrarlo, se debe tomar como referencia el voltaje que proporcione el eje Z, ya que si se pone el acelerómetro en una superficie plana y perpendicular con la tierra, el eje Z estará midiendo 1G.</p>
Alimentación del sensor	<p>El sensor se alimenta a 5V o 3.3V.</p>
Activación	<p>El módulo tiene un selector "sleep" (SL) que pone el sensor en modo de bajo consumo, prácticamente lo apaga. Viene bien para cuando se quiere usar con batería (aunque la puesta en marcha desde 0 la hace en menos de 1 segundo). Para que funcione, se debe activar el pin SL con una señal alta (HIGH) que éste caso debe de ser 3.3V. Si no se va a usar ésta función, directamente se puede conectar el pin SL con la de alimentación a 3.3V.</p>

Tabla 10. Información general acelerómetro MMA7361L.
Fuente [62].

En la tabla 11 se encuentra información más precisa acerca de este acelerómetro como valores referentes a su polarización, corriente que necesita, rangos de medida seleccionables, etc.

Dato	Característica
Voltaje de entrada	2.2V~3.6V
Corriente de entrada	400 uA
Corriente en modo sleep	3 uA
Acelerómetro	Interfaz analógica, requiere 3 canales de ADC en el microcontrolador
Alta sensibilidad	800 mV/g a 1.5G
Rango de medida seleccionable	+/- 1.5G, +/- 6G

Módulo de regulador de voltaje	3.3V o 5V
Capacidad de detección	Caída libre (salida digital)
Filtros	Pasa bajos en las salidas analógicas
Tiempo de encendido (rápido)	0.5ms tiempo de respuesta
Autoprueba	Detección de caída libre
Abertura del sensor	5mm
Salida digital	0V ó 5V
Salida analógica	0V~5V

Tabla 11. Información detallada acelerómetro MMA7361.
Fuente [63].

Para el desarrollo de este proyecto el sensor (acelerómetro MMA7361) fue polarizado de la siguiente manera (ver tabla 12):

Pin	En uso	Activo [lógico]
Eje-X	X	-----
Eje-Y	X	-----
Eje-Z	X	-----
Sleep (SL)	X	1
Detect(OG)	-----	-----
5V	-----	-----
3.3V	X	1
Ground(GND)	X	0
Select(GS)	X	1
Self Test(ST)	X	0

Tabla 12. Distribución y alimentación del acelerómetro MMA7361.

2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO

Para lograr obtener la medición de la fuerza ejercida por el suelo sobre el cincel fue necesario diseñar un circuito electrónico fácil de manipular, en el cual se pudo enviar los datos de forma inalámbrica por cuestiones de facilidad en el cableado y en la recepción de datos, de igual manera fue importante que el acelerómetro el cual estaría ubicado en la parte posterior del zapato se encontrará protegido. Una de las condiciones más importantes que debía cumplir el circuito electrónico del acelerómetro era su tamaño debido a que este debía ser ubicado en una caja de 20 mm por 30 mm que se realizó en la parte posterior del zapato.

El circuito electrónico consta de los siguientes implementos:

- ✓ Sistema embebido tarjeta STM32F407VG
- ✓ Sistema de envío de datos XBee PRO S2
- ✓ Acelerómetro MMA7361
- ✓ Diodo de protección 1N4005
- ✓ Regulador de voltaje LM7805

- ✓ Sistemas de alimentación de voltaje Borneras
- ✓ Capacitores 1nF

La conexión de los dispositivos electrónicos mencionados anteriormente se pueden observar en la ilustración 24. En la cual se parte de una alimentación de 12V la cual es adquirida de la tensión suministrada por el tractor (ver Ilustración 22), pasando por un integrado el cual es un regulador de voltaje que puede tener entradas de 10 a 15 voltios y una única salida de 5 voltios máximo. El LM7805 tiene como función alimentar la STM32F407VG la cual tiene una salida de 3V3 que permite polarizar el acelerómetro.



Ilustración 22. Alimentación de 12V tomada de la tensión del tractor para alimentar el circuito electrónico.

Para la alimentación del circuito electrónico como se mencionó anteriormente los 12 voltios fueron tomados de la caja de fusibles del tractor (ver Ilustración 22), para tomar la tierra se conectó a la masa de la maquina la cual sirvió para aterrizar el circuito (ver Ilustración 23).



Ilustración 23. Alimentación circuito electrónico, tierra tomada de la masa de la herramienta.

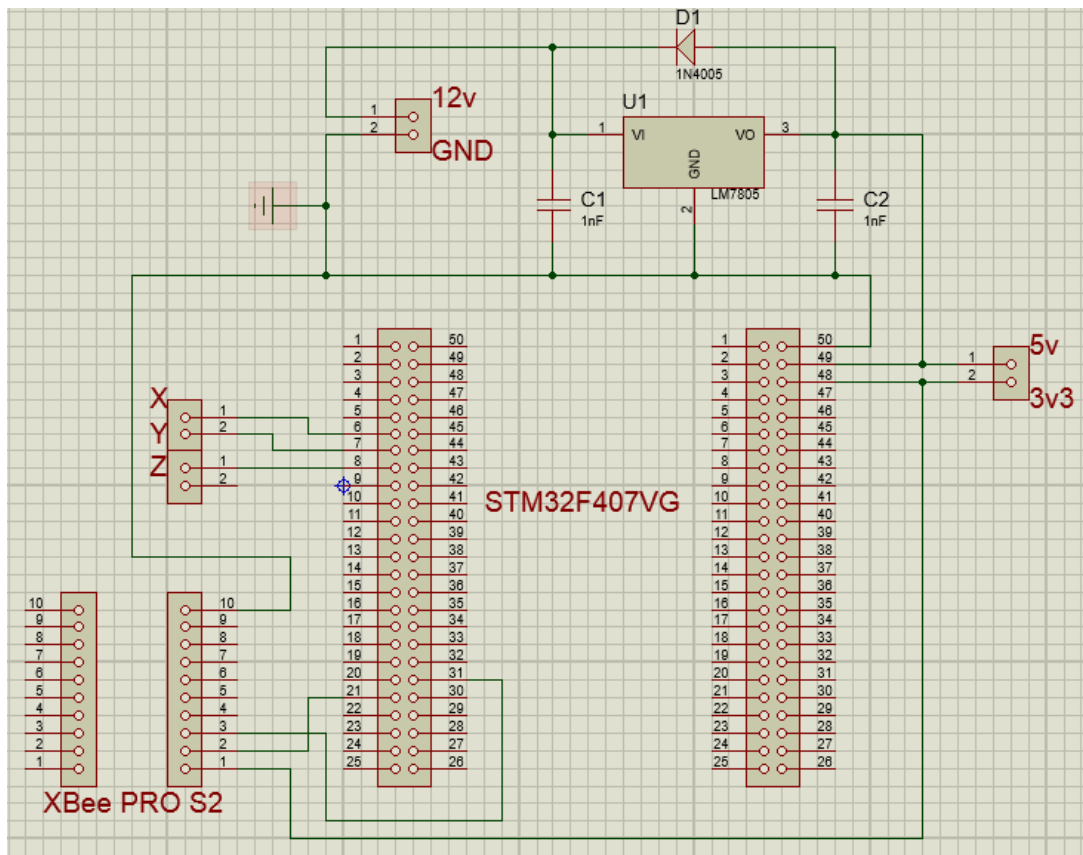


Ilustración 24. Diseño electrónico realizado en Proteus 8®, STM32F407VG, XBee PRO S2.

La tarjeta de adquisición fue programada (ver anexo E) de forma que los pines A1, A3 y A5 sean de entrada, pines que registraron la variación de voltajes respectivamente de los ejes X, Y y Z del acelerómetro, adicionalmente el pin 21 se encuentra conectado al pin de transmisión (Tx) de la XBee PRO S2 es decir el pin 2, el pin 31 de la STM32F407VG se encuentra conectado al pin 3 de la XBee PRO S2 el cual es el encargado de recibir (Rx) los datos de trasmisión (ver ilustración 25).

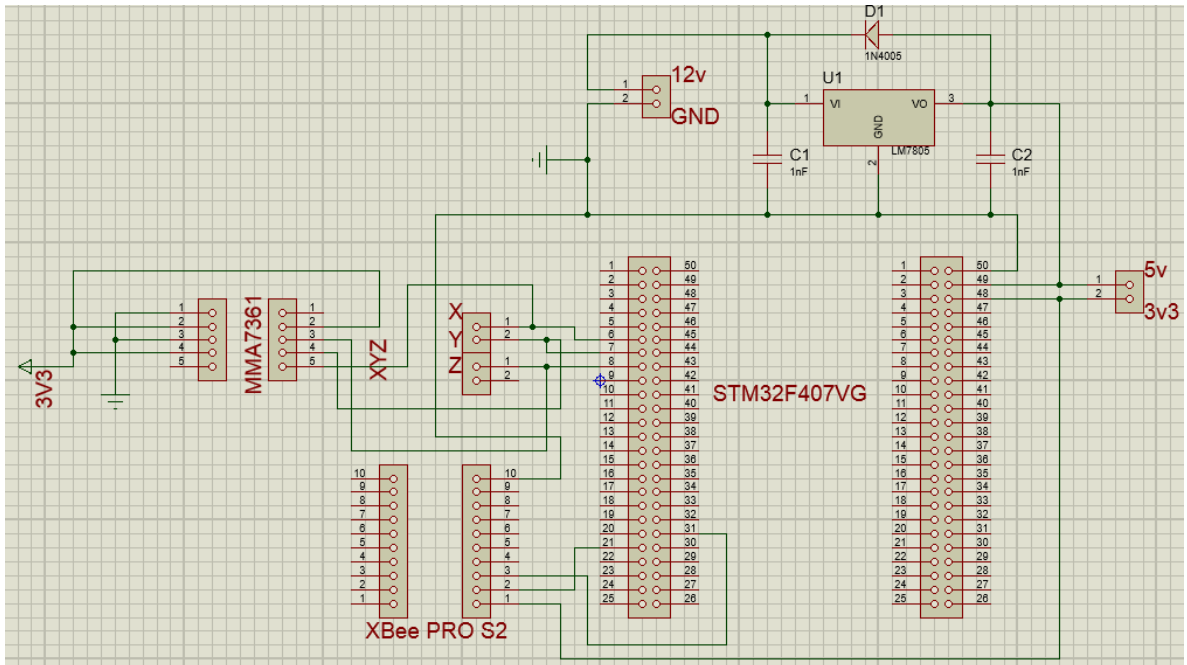


Ilustración 25. Diseño electrónico realizado en Proteus 8®, STM32F407VG, XBee PRO S2 y MMA7361.

2.5 DISEÑO INTERFAZ PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Una vez definida la forma de transmisión de datos, resulta necesario definir el programa en el cual se almacenaran y visualizaran las fuerzas que afectan al cincel. Para la adquisición de datos se elaboró una interfaz en Labview®, la cual se encuentra dividida en varias pestañas con el fin de poder visualizar las fuerzas en X, Y, Z y Fuerza Neta, adicionalmente cuenta con una pestaña en la cual se pueden visualizar todas las fuerzas y los datos que se van registrando por el acelerómetro.

En la ilustración 26 se observa la cantidad de pestañas que contiene la interfaz, las cuales son: Presentación, Fuerza en X, Fuerza en Y, Fuerza en Z, Fuerza Neta y Visualización General.

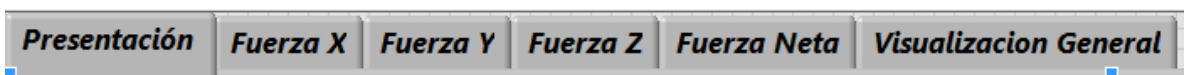


Ilustración 26. Interfaz realizada en Labview®, pestañas.

En la pestaña de Presentación se encuentran los datos de quien diseño la interfaz, de igual manera existe una sección en la cual se observan los datos adquiridos por la comunicación inalámbrica, esta comunicación debe ser establecida en un principio y se observa en la parte inferior derecha de la interfaz la función “Puerto Serial” la cual realiza la conexión al puerto común en el cual se encuentre conectada la XBee para la recepción de datos (ver Ilustración 27 y 28).

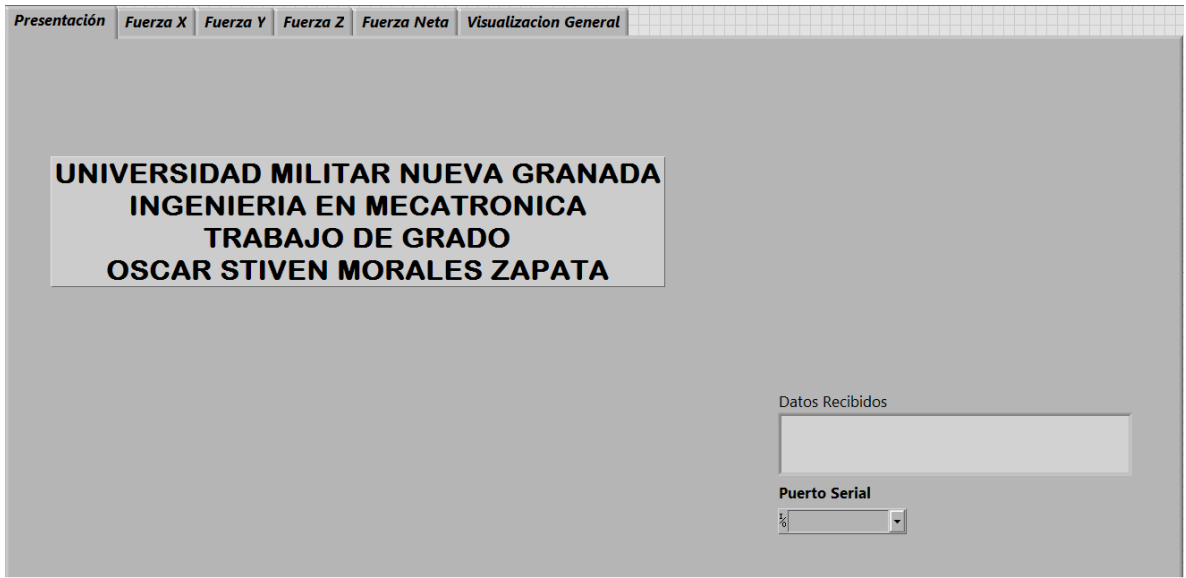


Ilustración 27. Interfaz realizada en Labview®, Presentación.

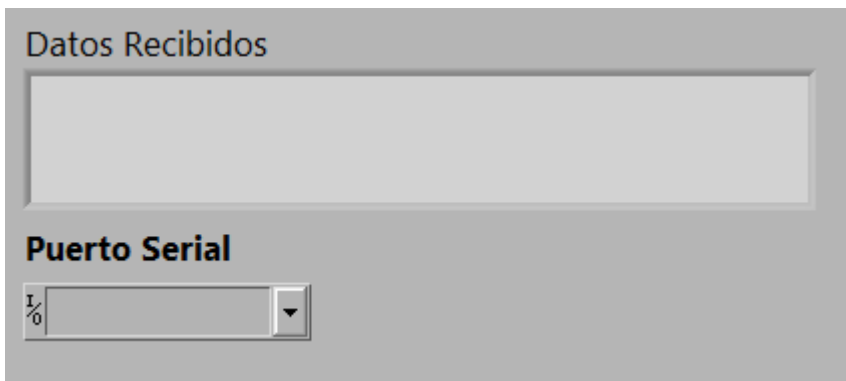


Ilustración 28. Interfaz realizada en Labview®, Verificación envío de datos y conexión del puerto serial.

Como se mencionaba anteriormente la interfaz tiene cuatro pestañas en las cuales se observan las fuerzas en X, Y, Z y la Fuerza Neta a la que está sometido el arado tipo cincel, en estas pestañas se encuentra un panel en el cual se graficó cada fuerza por aparte, además en la parte inferior izquierda cuenta con un cuadro en el cual arroja el valor de la fuerza que está recibiendo. La elaboración de estas pestañas se hace con el fin de visualizar de una mejor manera las fuerzas y observar los cambios si se quiere detallar cada fuerza por aparte (ver Ilustración 29, 30, 31 y 32).

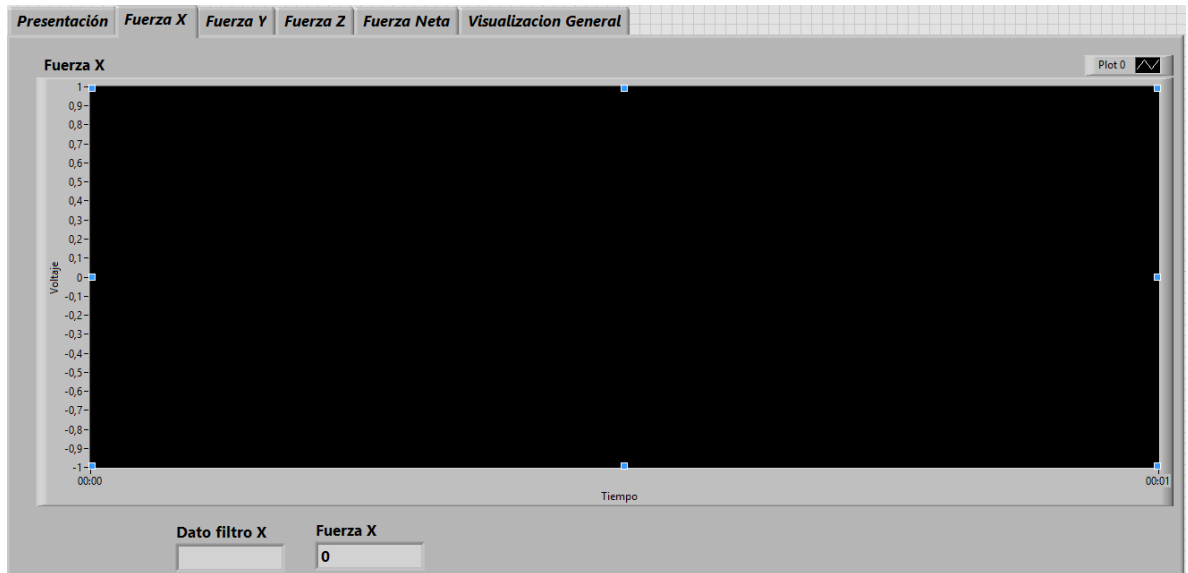


Ilustración 29. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza en X.

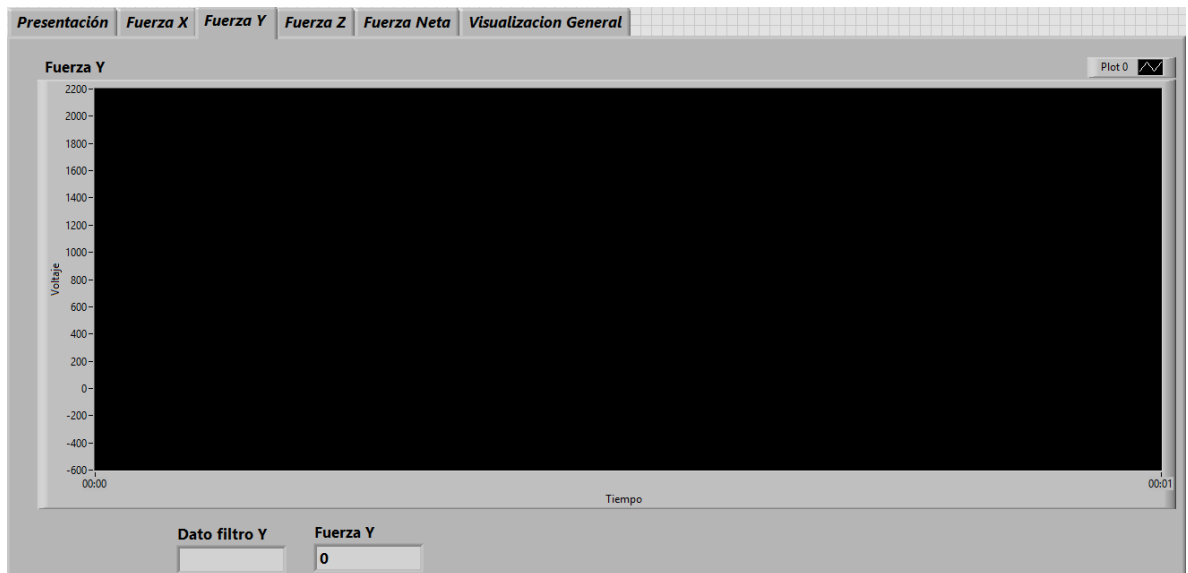


Ilustración 30. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza en Y.

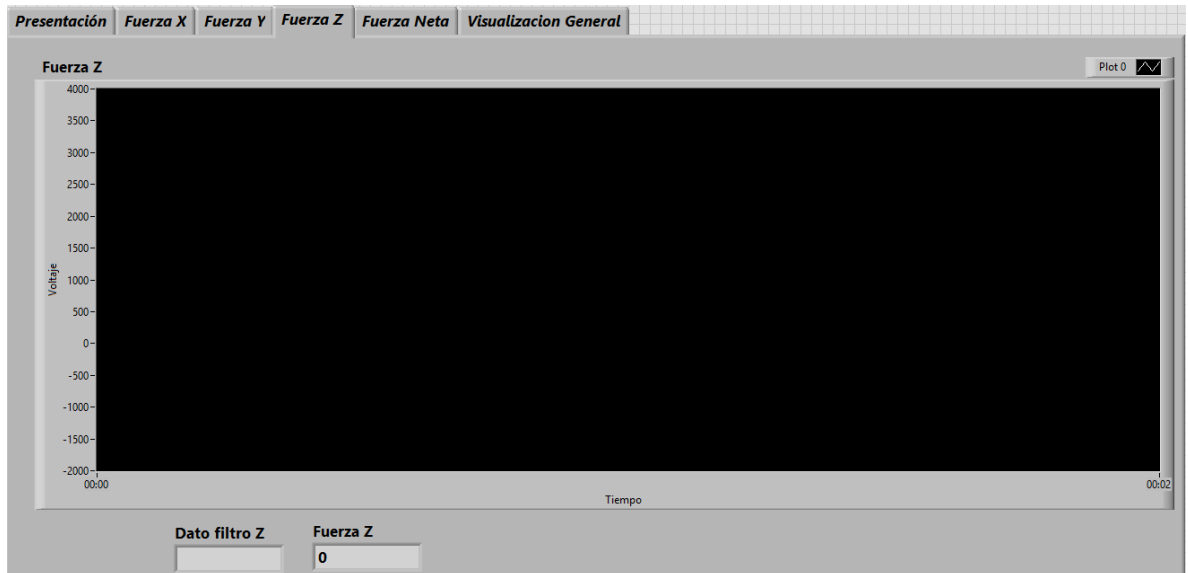


Ilustración 31. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza en Z.

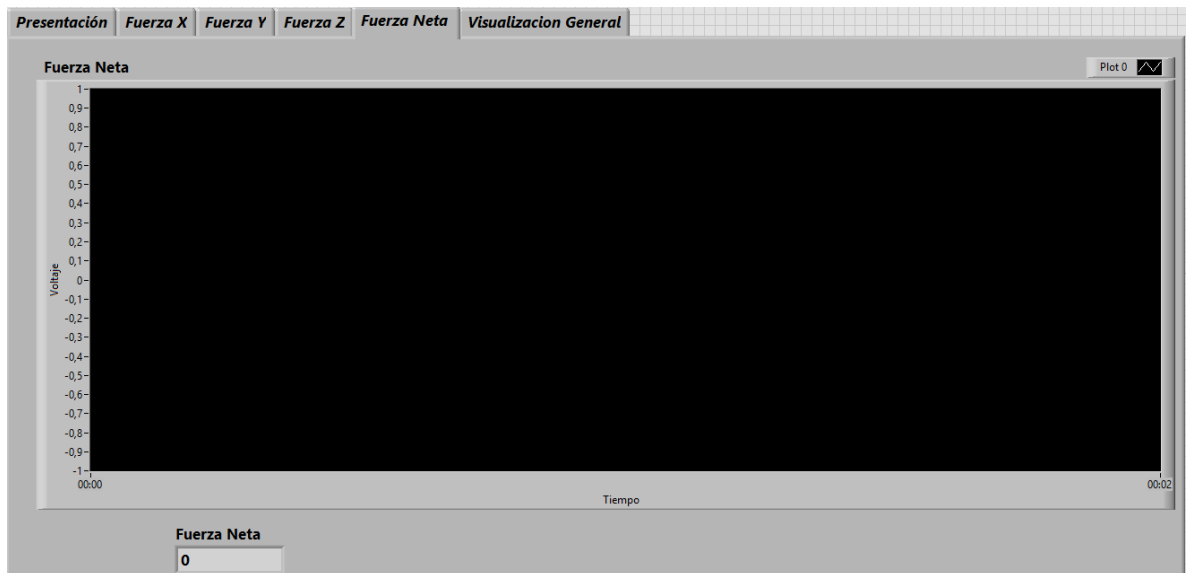


Ilustración 32. Interfaz realizada en Labview®, Visualización fuerza Neta.

En la última pestaña encontramos cuatro “Waveform Charts” en las cuales se visualiza la misma señal adquirida que en las anteriores cuatro pestañas; adicionalmente esta pestaña cuenta en el costado derecho superior con una tabla en la cual se almacenan los datos de la siguiente manera: en la primera columna el día, mes y el año en el que se elaboró la prueba, en la siguiente columna se registra la hora, el minuto y el segundo en el que se tomaron los datos, en la tercera columna se registra el valor de la masa del cincel y en la columna 4, 5, 6 y 7 se registran los valores de las fuerzas en X, Y, Z y Fuerza Neta respectivamente. Al costado derecho inferior se debe registrar el valor de la masa del cincel, adicionalmente se ubica un botón de Stop que cumple con la función de habilitar una ventana para guardar la tabla de almacenamiento de datos, tabla que luego podrá ser exportada a Microsoft

Excel® para analizar los datos obtenidos en las pruebas (ver Ilustración 33 y 34), (Anexo G).

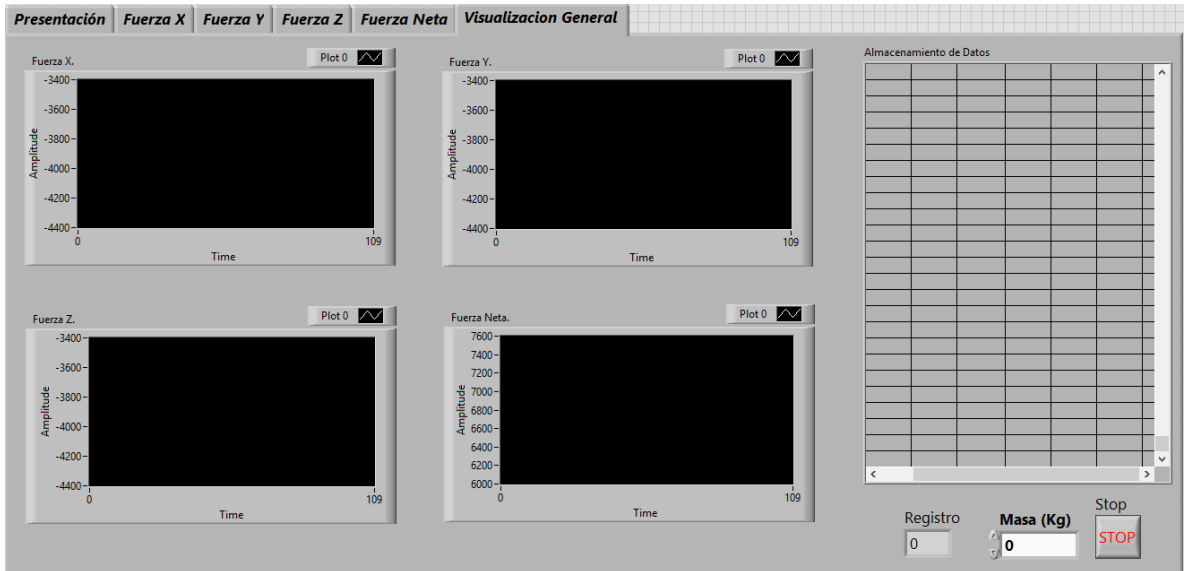


Ilustración 33. Interfaz realizada en Labview®, Visualización general de las fuerzas, almacenamiento de datos, registro de la masa, botón Stop.

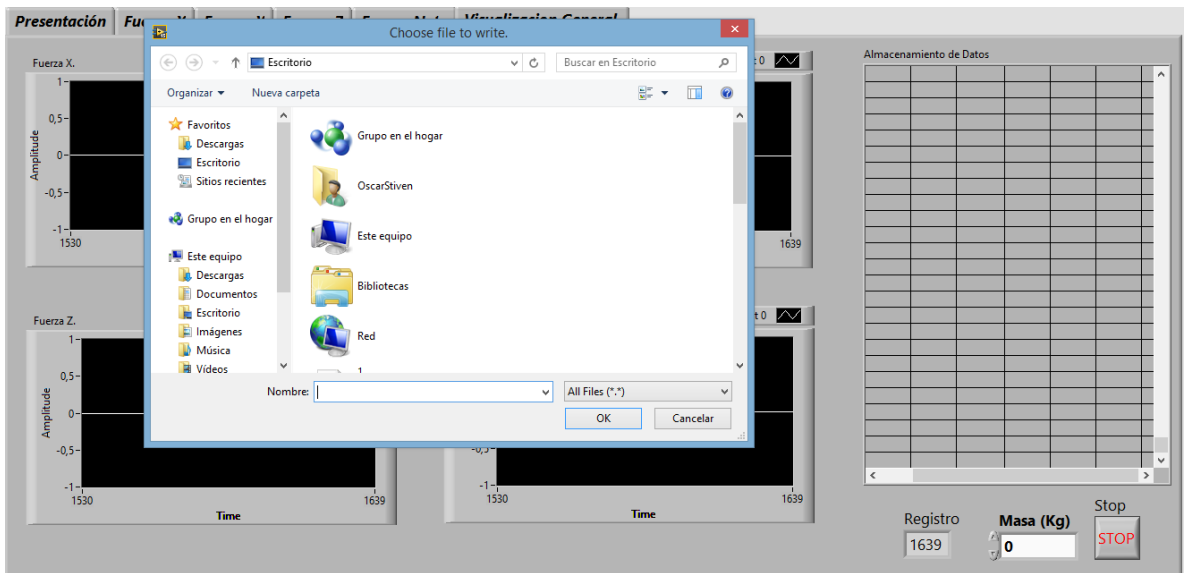


Ilustración 34. Interfaz realizada en Labview®, Ventana para guardar los datos de la tabla de Almacenamiento de Datos.

2.6 PRUEBAS PRELIMINARES

Para llegar a la interfaz expuesta en el inciso anterior fue necesario realizar varias pruebas, las cuales fueron siendo mejoradas hasta llegar a dicho punto, la interfaz realizada en un principio contenía tres “Waveform Charts” en una sola pestaña, en ese mismo espacio se encontraba la tabla de Almacenamiento de Datos, el cuadro de datos Recibidos, la conexión del puerto serial y el botón de Stop (ver Ilustración 35)

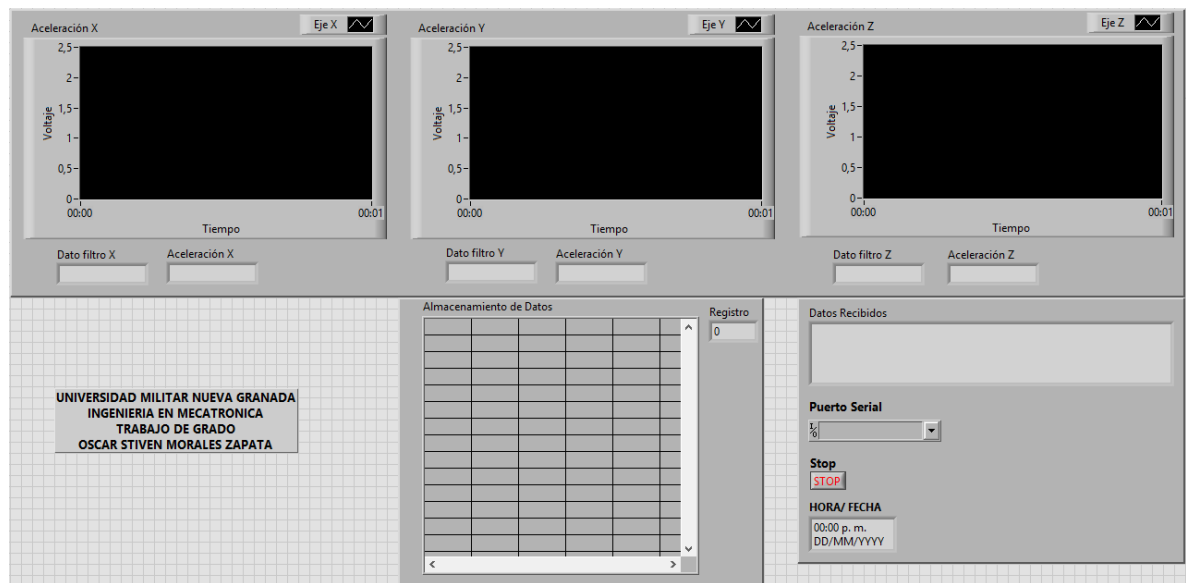


Ilustración 35. Interfaz almacenamiento de datos inicial

Con una serie de pruebas realizadas resulto necesario reestructurar la interfaz, con el fin de obtener una visualización mejor de los datos recibidos, dar más espacio y evitar confusiones con el almacenamiento de datos. De esta manera se llegó a la interfaz adecuada (ver ilustraciones del capítulo 2.5).

Para llegar a esa interfaz óptima se realizaron algunas pruebas como:

- ✓ En un espacio al aire libre se simulo el terreno de las pruebas, es decir se ubicó la XBee que recibe los datos a cierta distancia con el fin de observar cual era el máximo alcance de transmisión, dando como resultado una distancia mayor a los 50 metros que se habían estipulado para el experimento.
- ✓ Para el desarrollo de las pruebas debía asegurarse que la transmisión de datos no fuera a fallar, es decir, que tanto la XBee de recepción como de transmisión debían estar en funcionamiento por más de 2 minutos, de esta manera se aseguraba que iban a tomarse los datos mientras el experimento estuviera en marcha. En las pruebas realizadas se alcanzaron a registrar datos por más de 15 minutos a una distancia de 60 metros aproximadamente, de esta manera se determina que la transmisión de datos será exitosa.
- ✓ Debido a que la alimentación del circuito se tomaría de la tensión del tractor, se realizaron pruebas de voltaje, en las cuales el circuito integrado soportará los 12 v sin ningún inconveniente durante unos 5 minutos, luego se fue aumentando el voltaje hasta llegar a 16 v, debido

a que cuando el tractor esta encendido la corriente dc varía entre 14 v y 15 v.

- ✓ Se utilizó el modo de transmisión asíncrona, en la que se configuró que el tiempo por bit en una línea en la que se transfiere la información a 115200 bits por segundo (bps) es de 8.68 microsegundos ($1s/115200$). De igual manera, se determinó cuántos bits de datos y caracteres fueron transmitidos de manera asíncrona en 1 segundo a una velocidad de 115200 bps, con 1 bit de inicio, 1 bits de parada, y 8 bits de datos por carácter para un total de 10 bits. Como la velocidad de transmisión es 115200 bps y cada carácter consume 10 bits, se transmitirán 11520 caracteres por segundo ($115200/10$). Como cada carácter posee 8 bits de datos serán transmitidos $11520 * 8 = 92160$ bits de datos por segundo.
- ✓ Se realizaron pruebas con una frecuencia de muestreo menor dando como resultado que con esta frecuencia no se podría detectar el cambio de estado de la señal a su debido tiempo, y esto daría lugar a que la estación terminal no recibiera los bits correctamente. Por ende se determinó que el tiempo de muestreo fuera de 0.001s. Sin embargo, si se seguía disminuyendo el tiempo de muestreo, el sensor, lograba enviar mayor cantidad de datos, generando ruido y por ende una falsedad en la lectura de los datos.

2.7 PROPUESTAS DE DISEÑO

Para el desarrollo de este experimento se dispuso de un sistemas de arado tipo cincel, en la tabla 13 podremos observar el levantamiento del CAD correspondiente al cincel con el cual fueron realizadas las pruebas.

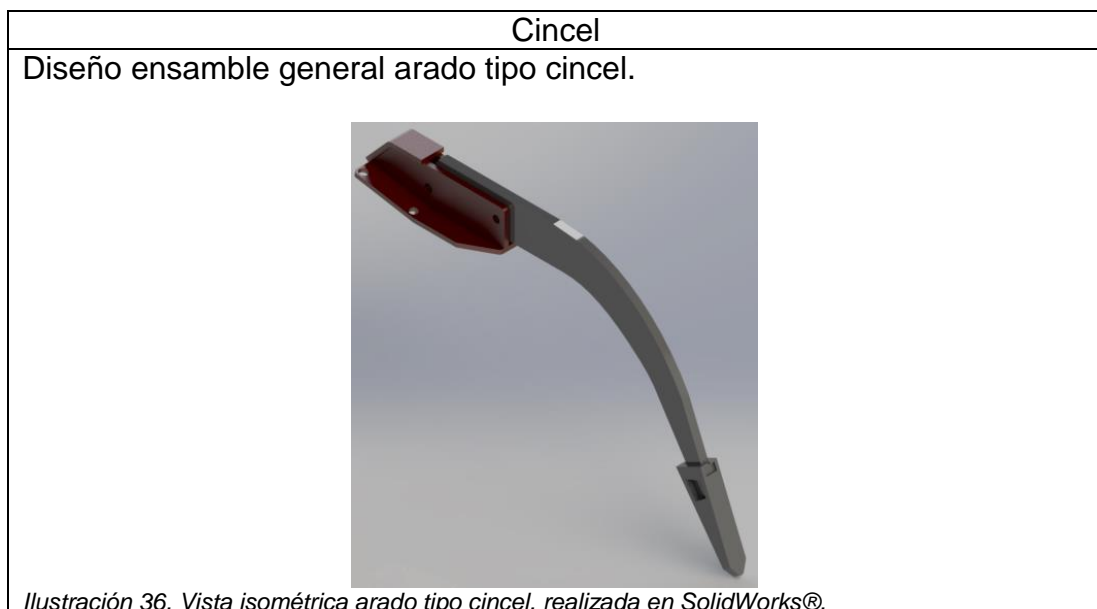




Ilustración 37. Vista lateral arado tipo cincel, realizada en SolidWorks®.



Ilustración 38. Vista frontal arado tipo cincel, realizada en SolidWorks®.

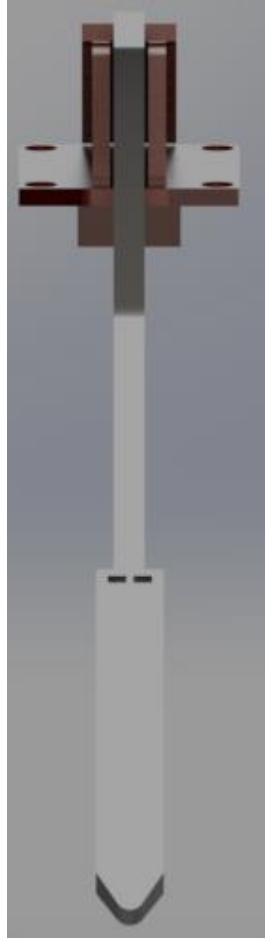


Ilustración 39. Vista posterior arado tipo cincel, realizada en SolidWorks®.

Cincel



Ilustración 40. Vista frontal cincel, realizada en SolidWorks®.

Cincel realizado en acero 5160 (Masa 10Kg).

Zapato

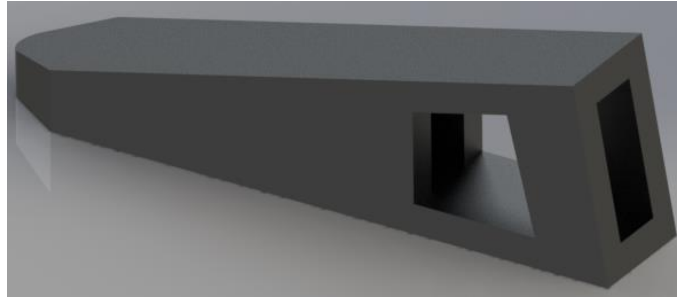


Ilustración 41. Vista isométrica zapato, realizada en SolidWorks®.

Zapato realizado acero 5160 (Masa 4Kg).

Soporte

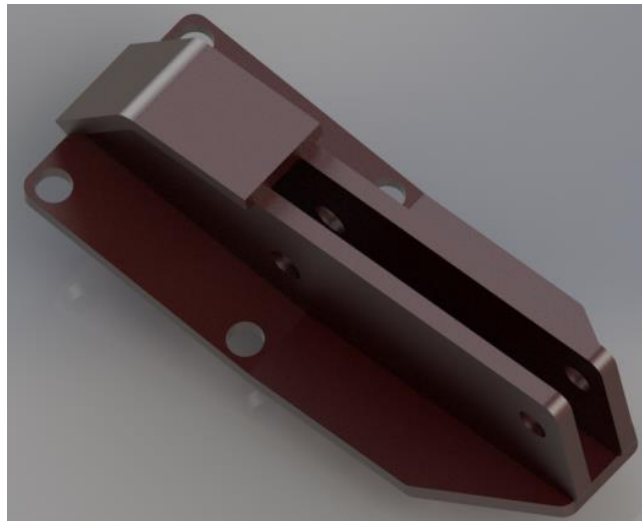


Ilustración 42. Vista isométrica soporte, realizada en SolidWorks®.

Soporte realizado en acero inoxidable (Masa 14Kg).

Tabla 13. Diseño del Arado tipo cincel utilizado para el experimento.

Una vez realizado el experimento se da paso al análisis de datos en el cual surgen tres ideas de posibles cambios que deberían tenerse en cuenta para obtener más información, con el fin de realizar comparaciones y llegar a otras conclusiones del diseño del arado tipo cincel.

- ✓ *Propuesta 1:* Realizar algunas pruebas con un arado tipo disco con el fin de observar cómo es su funcionamiento y detallar que ventajas y desventajas tiene sobre el arado tipo cincel.

- ✓ *Propuesta 2:* Realizar una modificación en el ángulo de ataque, ángulo que esta dado no solo por el cincel sino por los dos orificios que se encuentran en el soporte.

Orificios para dar el ángulo de ataque

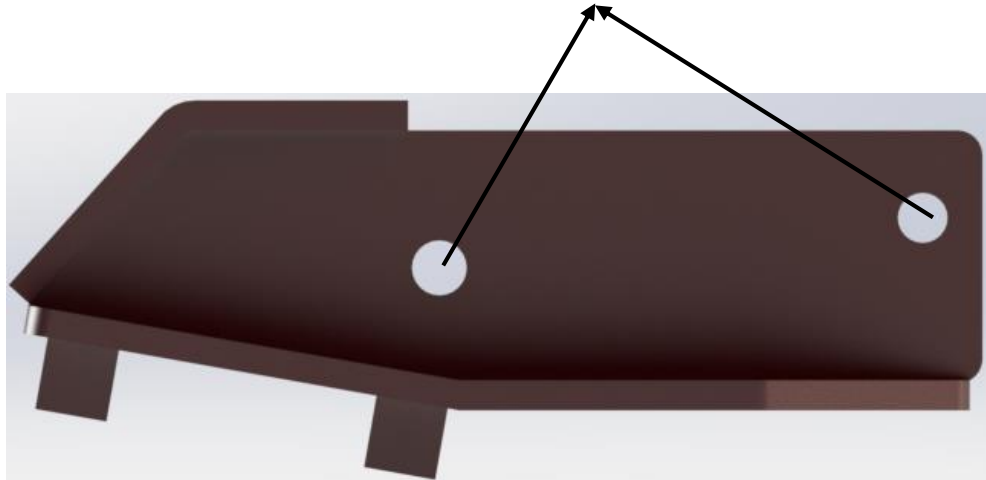


Ilustración 43. Vista lateral soporte cincel, realizada en SolidWorks®.

- ✓ *Propuesta 3:* Para finalizar se plantea realizar una modificación en el grosor del cincel, actualmente en el experimento el espesor es de 22 mm, se propone un cincel más angosto para observar la variación en las fuerzas y a su vez determinar si se puede llegar a generar un ahorro en el consumo de energía.

2.8 SELECCIÓN DE PROPUESTAS DE DISEÑO

Para la selección de la propuesta de diseño fue necesario realizar una matriz de selección, que permitiera tomar una decisión frente a cuál de las tres propuestas de diseño mencionadas anteriormente cumplía con la mayor cantidad de requisitos o condiciones sin afectar la labor de labranza (ver tabla 14).

Característica	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Impacto ambiental	Malo (Debido a que en su labor de volteo pasa la tierra muerta al fondo de la superficie y la tierra viva la pasa a la parte superior generando un impacto negativo)	Bueno	Bueno

	en el medio ambiente)		
Innovación	Malo (Debido a la consulta realizada se obtuvo información en la cual varias empresas han dejado de producir estos discos y se encuentran enfocadas en el arado tipo cincel)	Bueno	Bueno
Costo de elaboración	Bueno	Bueno	Bueno
Fácil transportación	Bueno	Bueno	Bueno
Protección de los alimentos	Bueno	Bueno	Bueno
Uso de materiales que ayudan a la protección del medio ambiente	Bueno	Bueno	Bueno
Fácil instalación	Bueno	Bueno	Bueno
Profundidad de trabajo	Bueno	Bueno	Bueno
Mayor rendimiento	En estudio	En estudio	En estudio
Eficiencia	En estudio	En estudio	En estudio

Tabla 14. Tabla de selección de propuesta de diseño.

Basados en la tabla anterior se decide trabajar con la propuesta número tres, debido a que se analiza que variando su espesor puede llegar a generarse un menor esfuerzo y consumo de energía sin afectar el medio ambiente en el que se realizan los procesos de cultivo.

CAPITULO 3. VALIDACION EXPERIMENTAL

El resultado de las pruebas de campo se basa en la recopilación de información del desarrollo de dos pruebas, una realizada el día 15 de septiembre del 2015 y la otra realizada el 29 de septiembre del 2015. En un principio, solo se tuvo pensado desarrollar una sola prueba pero debido aspectos no tenidos en cuenta por las condiciones físicas del terreno resultó necesario hacer una segunda prueba con el fin de tener otras muestras que nos permitieran tener unos datos más verídicos.

3.1 TRABAJO EN CAMPO

Las dos pruebas realizadas se basaron en la toma de tres datos diferentes los cuales fueron: *Prueba 1*. Consistió en anclar la estructura tubular con el cincel al tractor y mantenerla elevada de la superficie, luego se encendía el tractor y se tomaban datos durante unos 20 segundos, cada toma de datos debía repetirse como mínimo tres veces, es decir se tomaban datos durante 20 segundos se esperaba un minuto y de nuevo se registraban 20 segundos, se esperaba 1 minutos de nuevo y se procedía a tomar la última muestra de datos.

Prueba 2. La siguiente prueba consistió en dejar la estructura tubular con el cincel elevado de la superficie, encender el tractor y recorrer una distancia de 50 metros aproximadamente (distancia estimada a raíz de que el proyecto se enfoca a pequeños agricultores), este recorrido fue realizado a 1500rpm con una relación tipo B en el tractor, el tiempo que se tardaba en realizar este recorrido era de 20 a 25 segundos aproximadamente. Al igual que en la prueba pasada debían realizarse tres toma de datos, el intervalos entre los datos fue aproximadamente de un minuto.

Prueba 3. Para finalizar la última toma de datos consistía en enterrar el cincel y tomar datos durante la misma distancia estipulada en la prueba anterior es decir 50 metros. Para el desarrollo de esta prueba tanto el tractor como el terreno fueron aspectos muy importantes debido a que el tractor tenía el eje muy bajo y no permitía enterrar el cincel a una profundidad mayor de 25 cm entonces decidió trabajarse con una profundidad de 15 a 17 cm aproximadamente, distancia que es utilizada cuando el terreno no está muy gastado y no necesita de un mayor trabajo. En esta toma de datos también se realizaron 3 muestras, cada muestra tomaba alrededor de 1 minuto y 20 segundos aproximadamente, esta prueba se realizó a 2000rpm en una relación A en el tractor debido a que se necesitaba más fuerza.

3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE TRABAJO EN CAMPO

Como se había mencionado en un principio en el presente trabajo de campo se realizaron dos pruebas, la primera el día 15 de septiembre y la segunda el

29 de septiembre, en las pruebas del 15 de septiembre se identificó que los datos registrados no eran muy coherentes debido a que:

- ✓ Las fuerzas registradas cuando la estructura tubular y el cincel están elevados de la superficie y el tractor se encuentra en movimiento fueron mayores que cuando el cincel se encuentra enterrado, se asume que esta variación en la fuerza es debido a que el terreno no era totalmente plano, muchas veces el tractor pasaba por resaltos lo cual lo obligaba hacer movimientos muy fuertes que eran captados por el acelerómetro (ver ilustración 44).



Ilustración 44. Terreno medición prueba número dos, día 15 de septiembre.

- ✓ Se observó que cuando se realizaron las primeras dos pruebas el zapato no se encontraba totalmente adherido al cincel, por ende se generaba un juego que podría afectar en la medición de las fuerzas ejercidas sobre el cincel (ver ilustración 45).



Ilustración 45. Zapato adherido al cincel, día 15 de septiembre.

Teniendo en cuenta las dos observaciones realizadas a las pruebas del 15 de septiembre del presente año se propone para las pruebas del 25 de septiembre las siguientes modificaciones sin alterar las características y las condiciones de la toma de datos:

- ✓ Para la medición de fuerzas cuando el cincel esta elevado y el tractor se encuentra en movimiento debe realizarse el muestreo en un terreno totalmente plano (ver Ilustración 46).



Ilustración 46. Terreno medición prueba número dos, día 29 de septiembre.

- ✓ Se recomienda que antes de realizar todas las pruebas el zapato sea adherido en su totalidad al cincel con fines de eliminar el juego que se genera en estas dos piezas, para esto debe enterrarse el cincel con el zapato en el terreno y recorrer como mínimo unos 5 metros, de esta manera se asegura que la misma tierra cubra los espacios y evite los movimientos entre el zapato y el cincel (ver ilustración 47).



Ilustración 47. Zapato adherido al cincel, día 29 de septiembre.

3.3 GRAFICAS DE DATOS OBTENIDOS

Luego de realizar las tres pruebas y sus respectivas repeticiones se procede a graficar los datos con herramientas virtuales, para este procedimiento se exportaron los datos desde Excel® a Matlab® y se realizan sus respectivas graficas dando como resultado:

3.3.1 Prueba 1

En la tabla 15 se registraron los datos correspondientes a la prueba 1 con el fin de dar a conocer la información necesaria acerca de las pruebas realizadas:

Fecha	Tiempo	Cronometro	Prueba	Ilustración
25/09/2015	10:56:30 - 10:56:50	20 segundos	1.1	48
25/09/2015	10:57:30- 10:57:50	20 segundos	1.2	49
25/09/2015	10:59:00- 10:59:20	20 segundos	1.3	50
25/09/2015	12:12:40- 12-13:00	20 segundos	1.4	51
25/09/2015	12:13:22- 12:13:42	20 segundos	1.5	52

Tabla 15. Registro de datos Prueba 1.

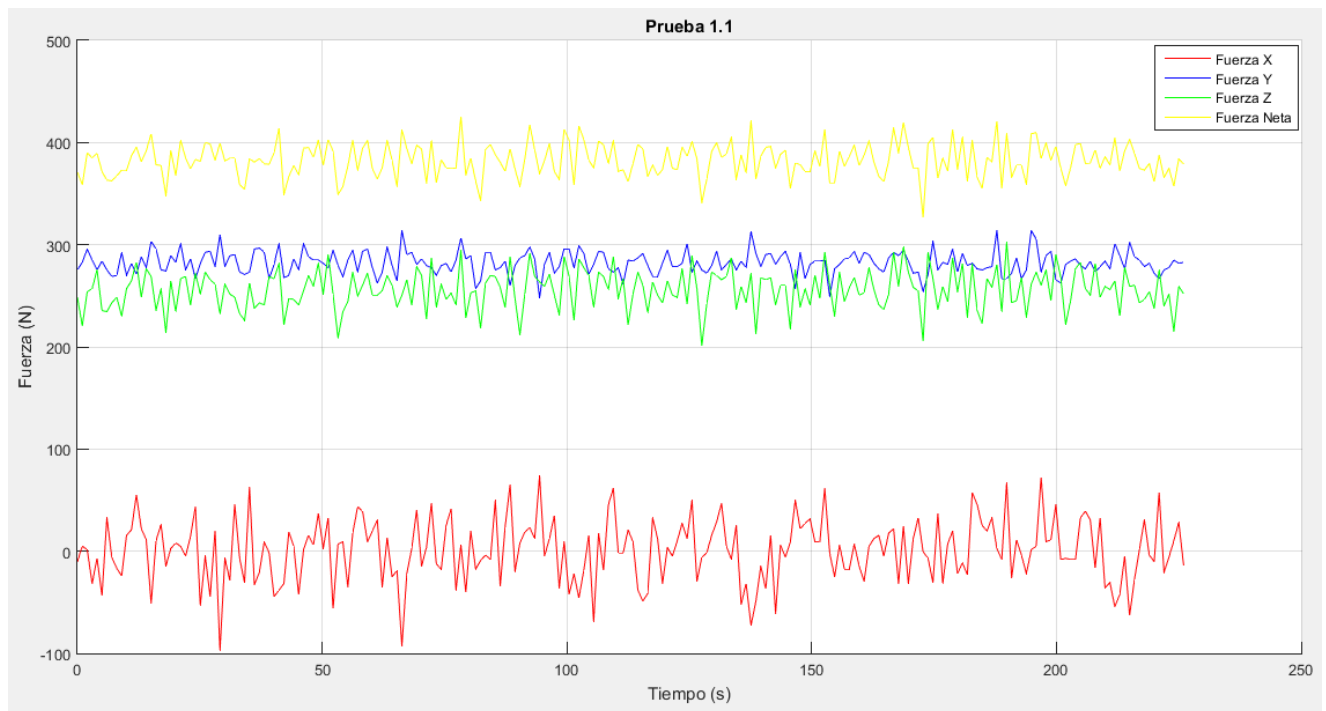


Ilustración 48. Grafica Prueba 1.1. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

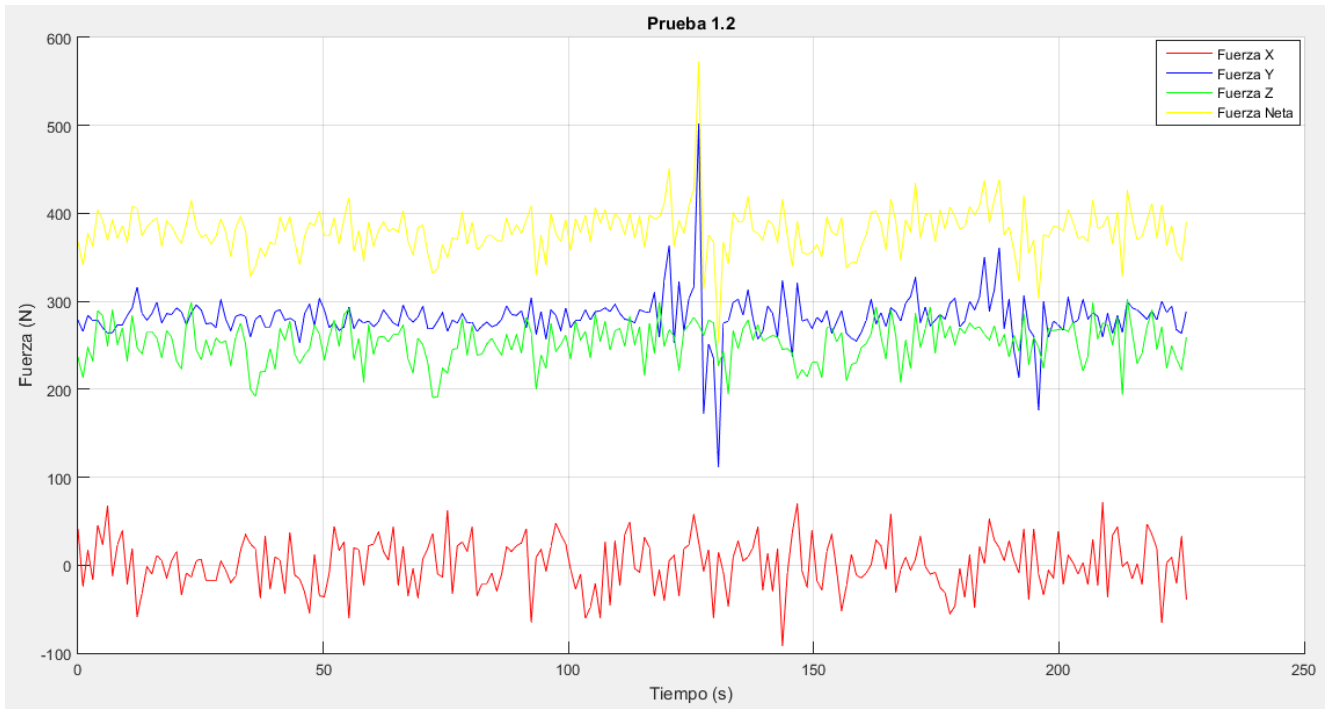


Ilustración 49. Grafica Prueba 1.2. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

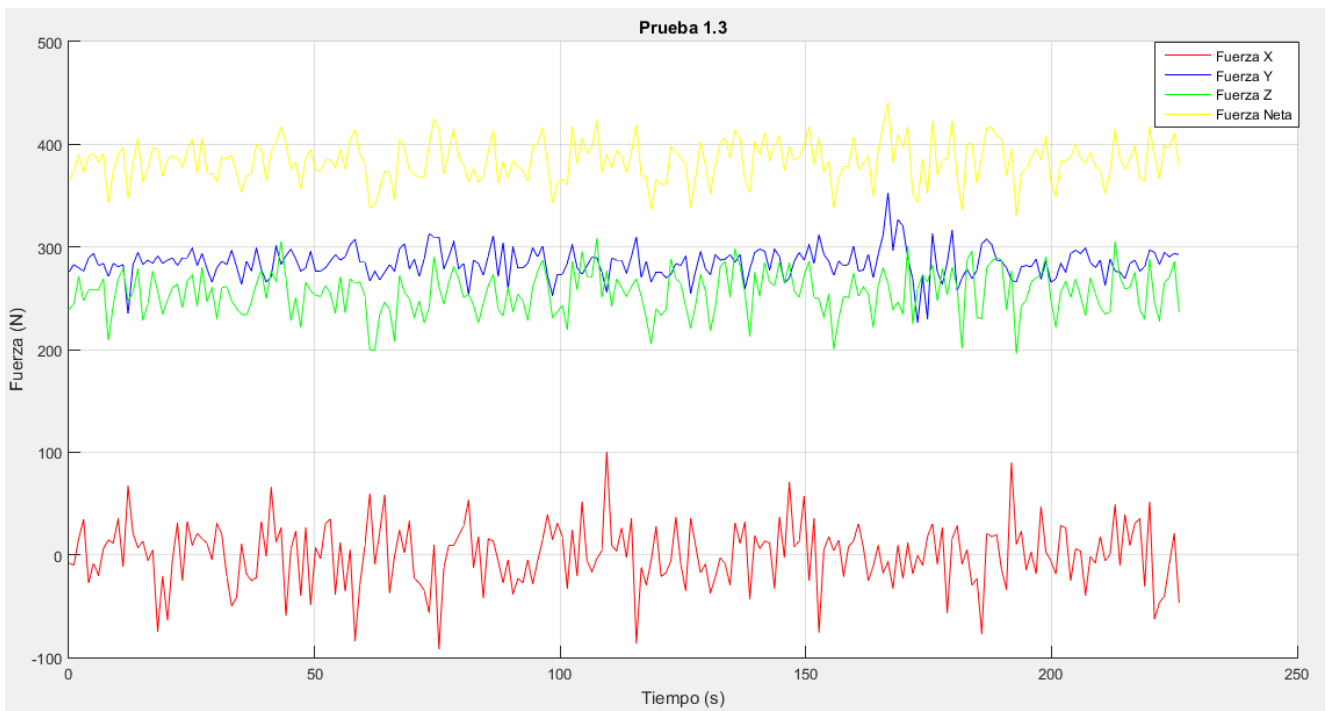


Ilustración 50. Grafica Prueba 1.3. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

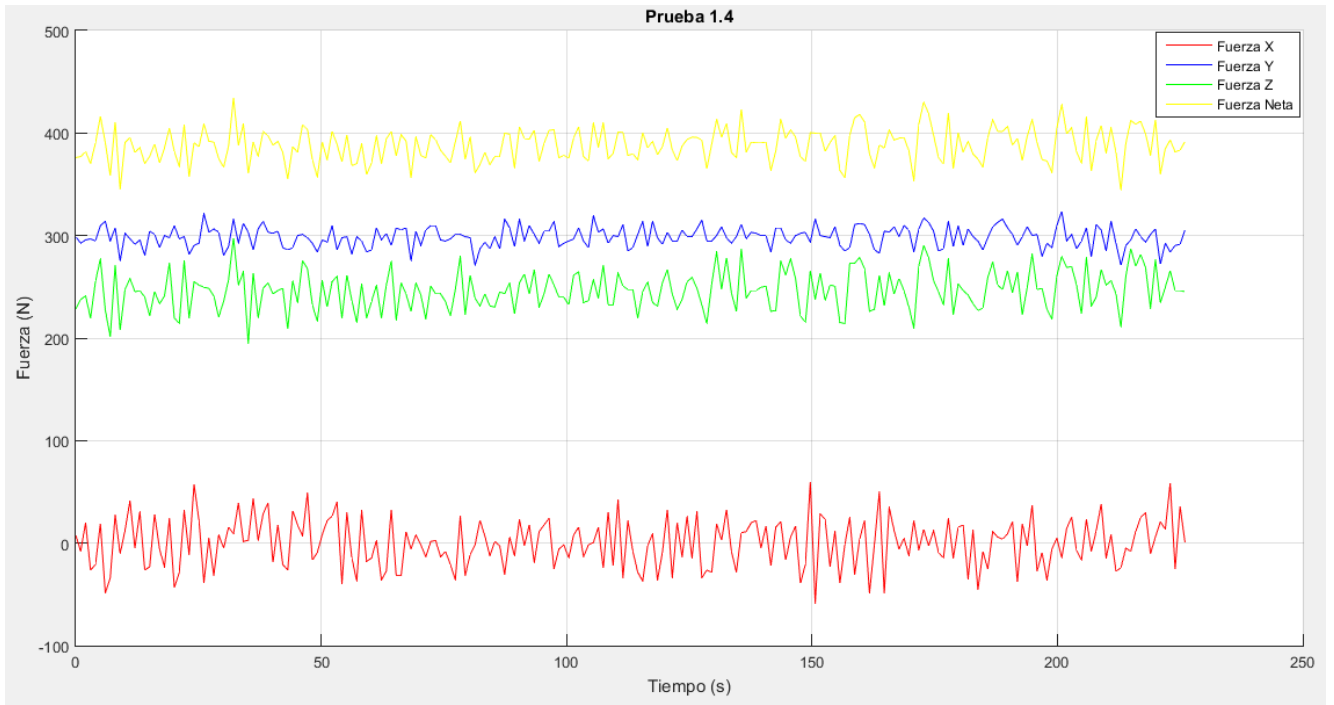


Ilustración 51. Grafica Prueba 1.4. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

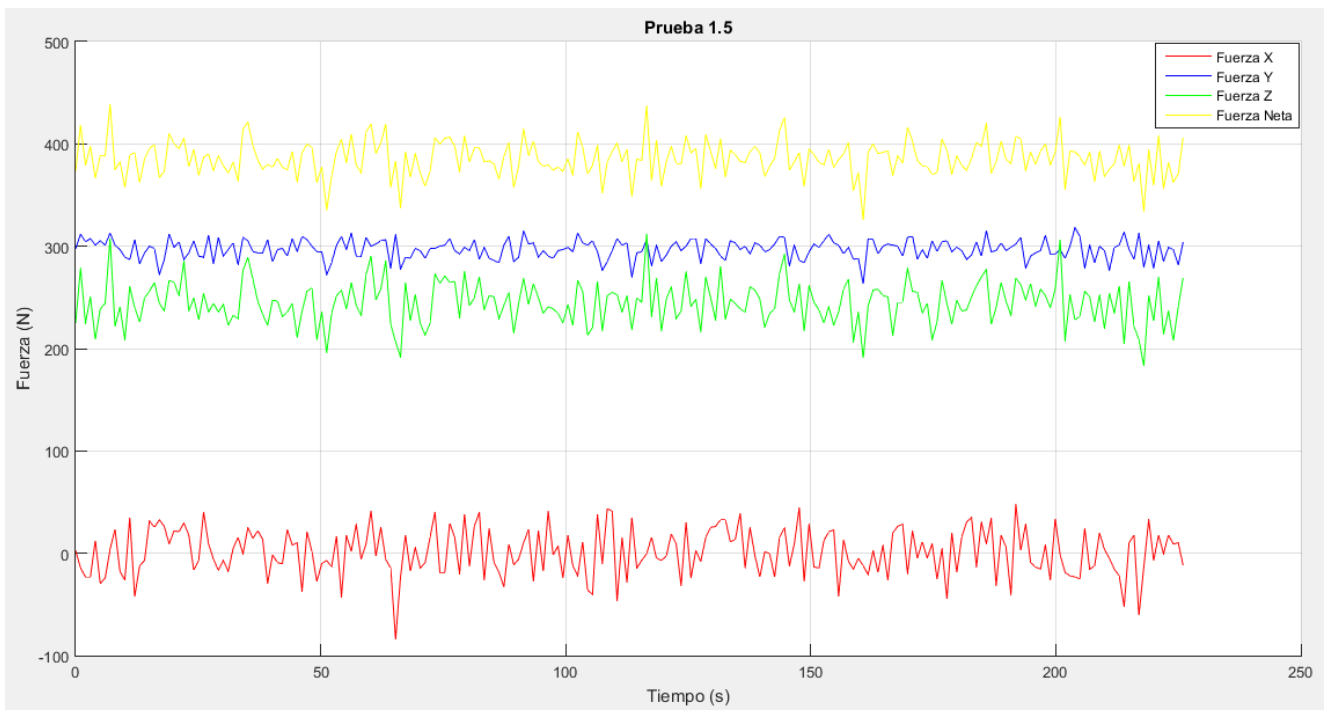


Ilustración 52. Grafica Prueba 1.5. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

3.3.2 Prueba 2

En la tabla 16 se registraron los datos correspondientes a la prueba 2 con el fin de dar a conocer la información necesaria acerca de las pruebas realizadas:

Fecha	Tiempo	Cronometro	Prueba	Ilustración
25/09/2015	11:18:58-11:19:24	28 segundos	2.1	53
25/09/2015	11:21:32-11:22:03	30 segundos	2.2	54
25/09/2015	11:23:48-11:24:19	31 segundos	2.3	55
25/09/2015	11:25:29-11:26:01	32 segundos	2.4	56
25/09/2015	12:09:29-12:10:01	32 segundos	2.5	57
25/09/2015	12:11:02-12:11:34	31 segundos	2.6	58

Tabla 16 Registro de datos Prueba 2.

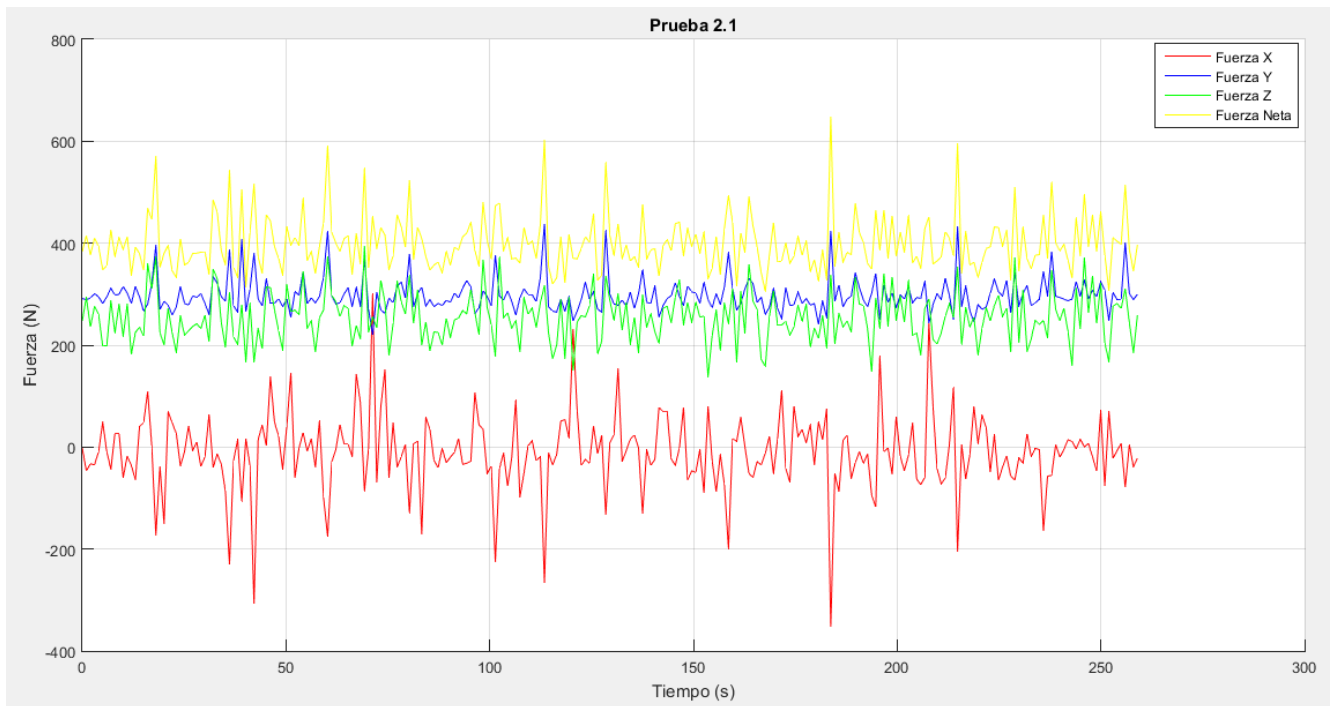


Ilustración 53. Grafica Prueba 2.1. Fx, Fy, Fz y Fuerza Neta.

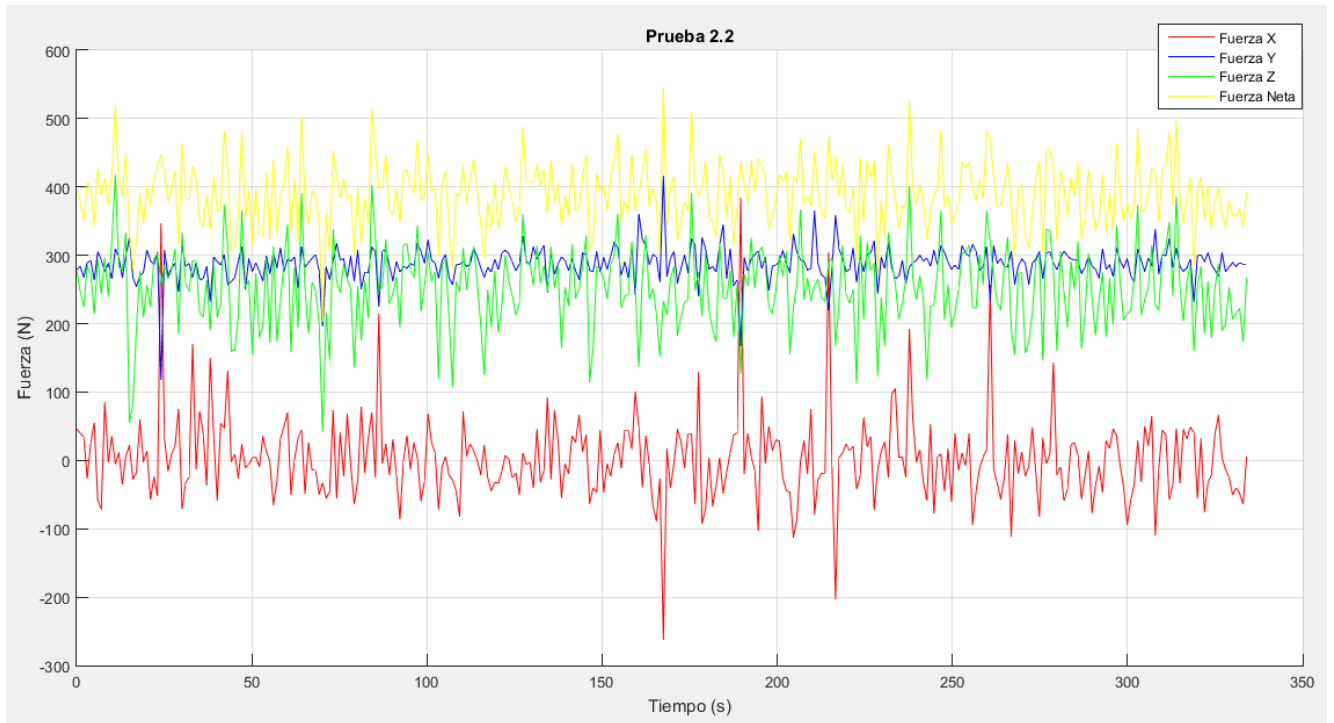


Ilustración 54. Grafica Prueba 2.2. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

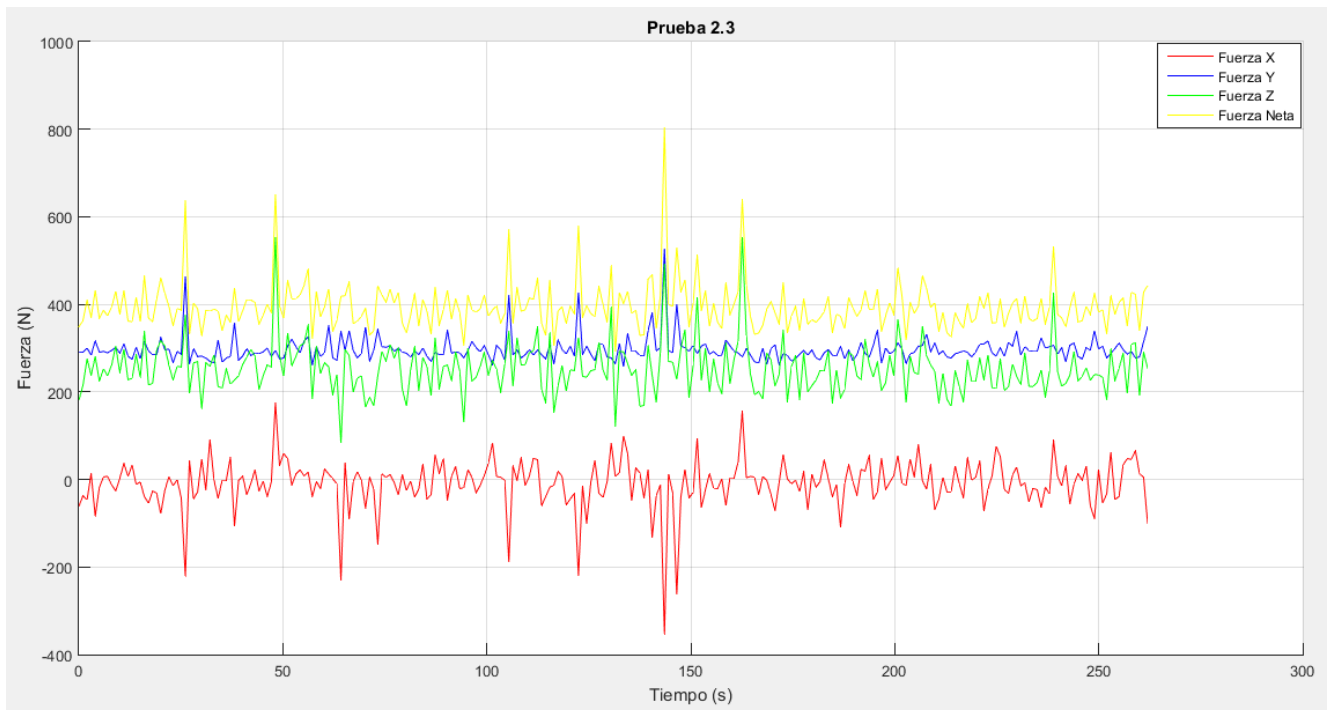


Ilustración 55. Grafica Prueba 2.3. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

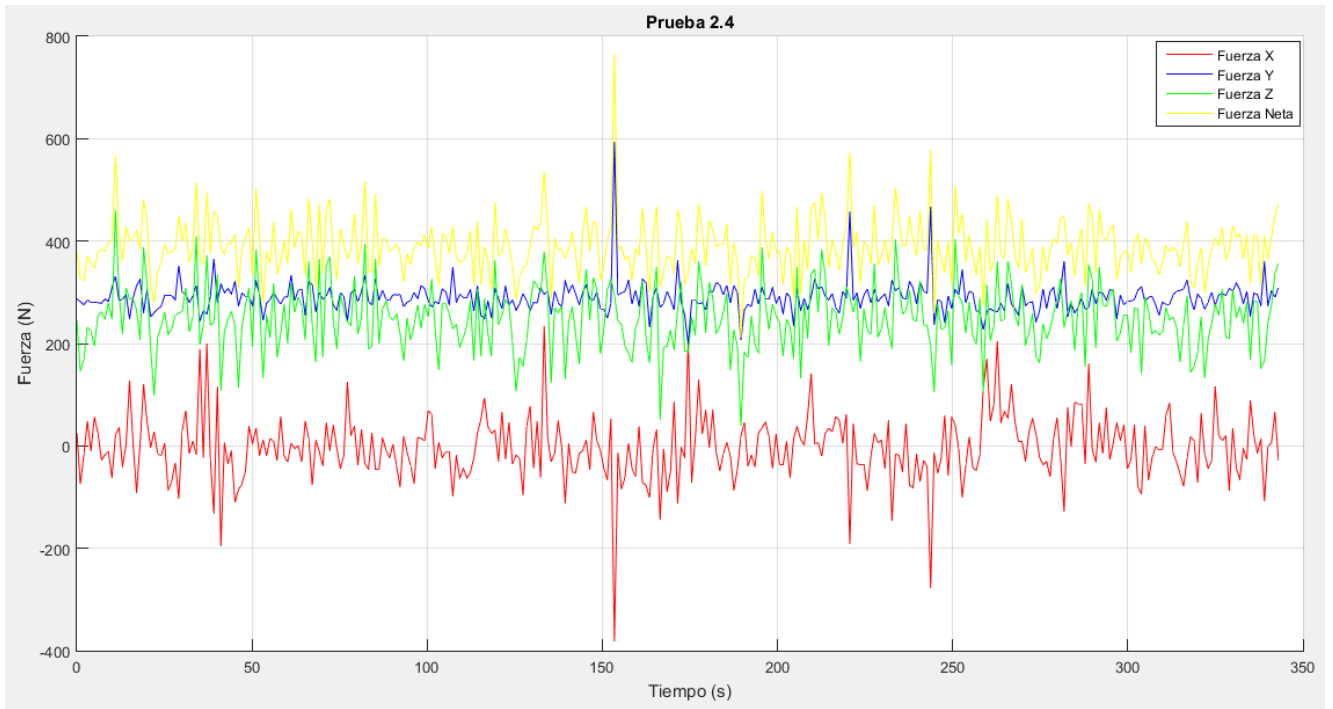


Ilustración 56. Grafica Prueba 2.4. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

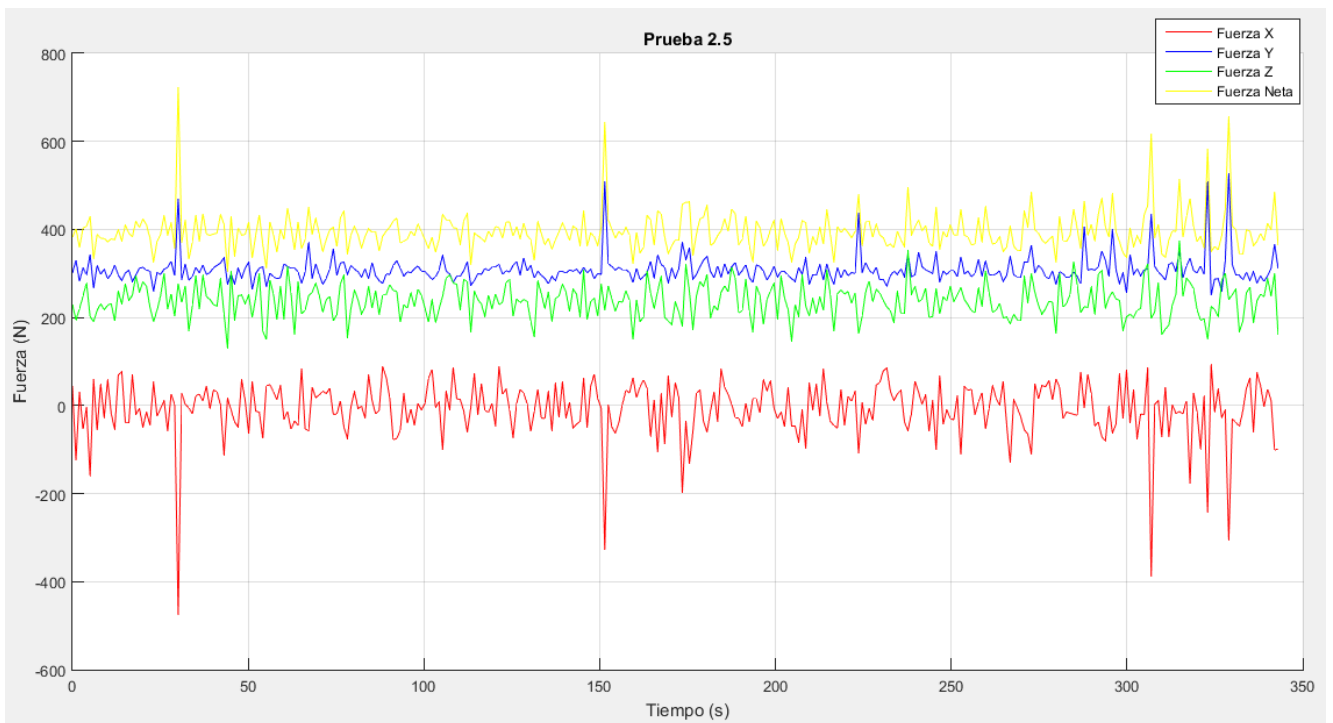


Ilustración 57. Grafica Prueba 2.5. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

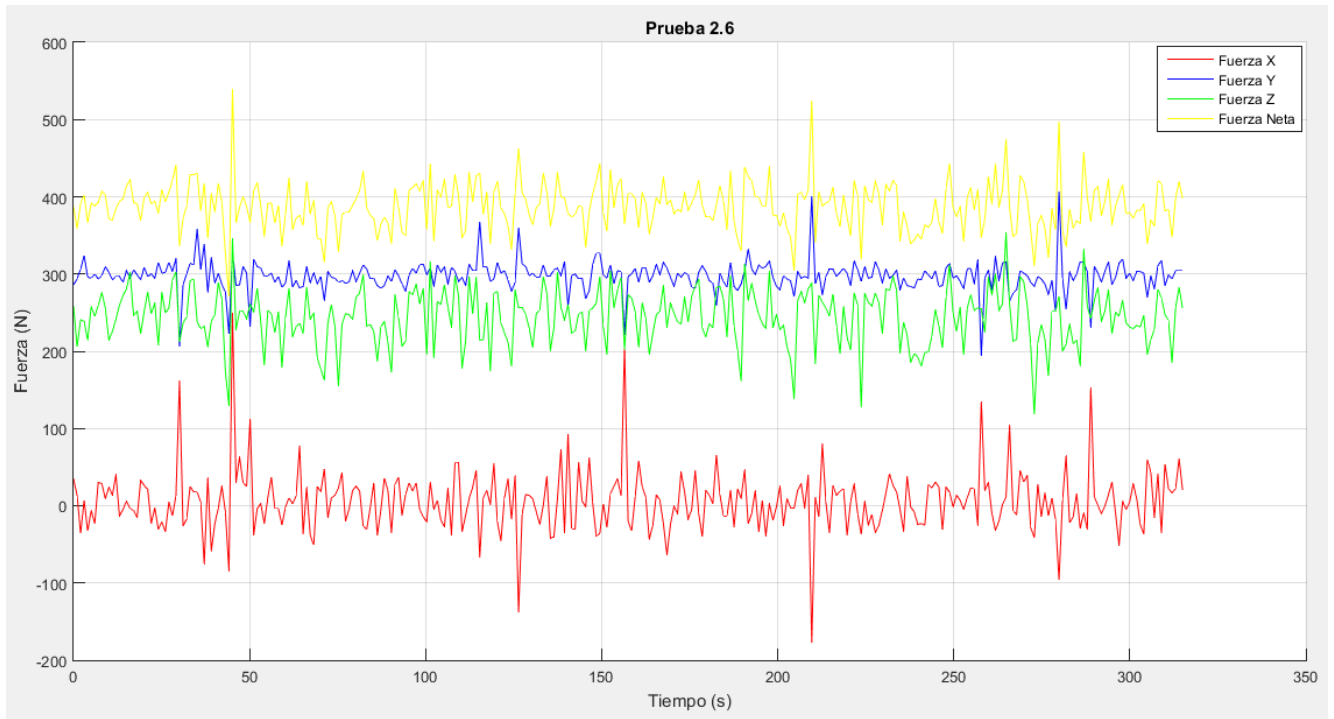


Ilustración 58. Grafica Prueba 2.6. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

3.3.3 Prueba 3

En la tabla 17 se registraron los datos correspondientes a la prueba 2 con el fin de dar a conocer la información necesaria acerca de las pruebas realizadas:

Fecha	Tiempo	Cronometro	Prueba	Ilustración
25/09/2015	11:58:36- 11:59:57	1min 23 segundos	3.1	59
25/09/2015	12:01:12- 12:02:28	1min 20 segundos	3.2	60
25/09/2015	12:03:38- 12:04:59	1min 23 segundos	3.3	61

Tabla 17. Registro de datos Prueba 3.

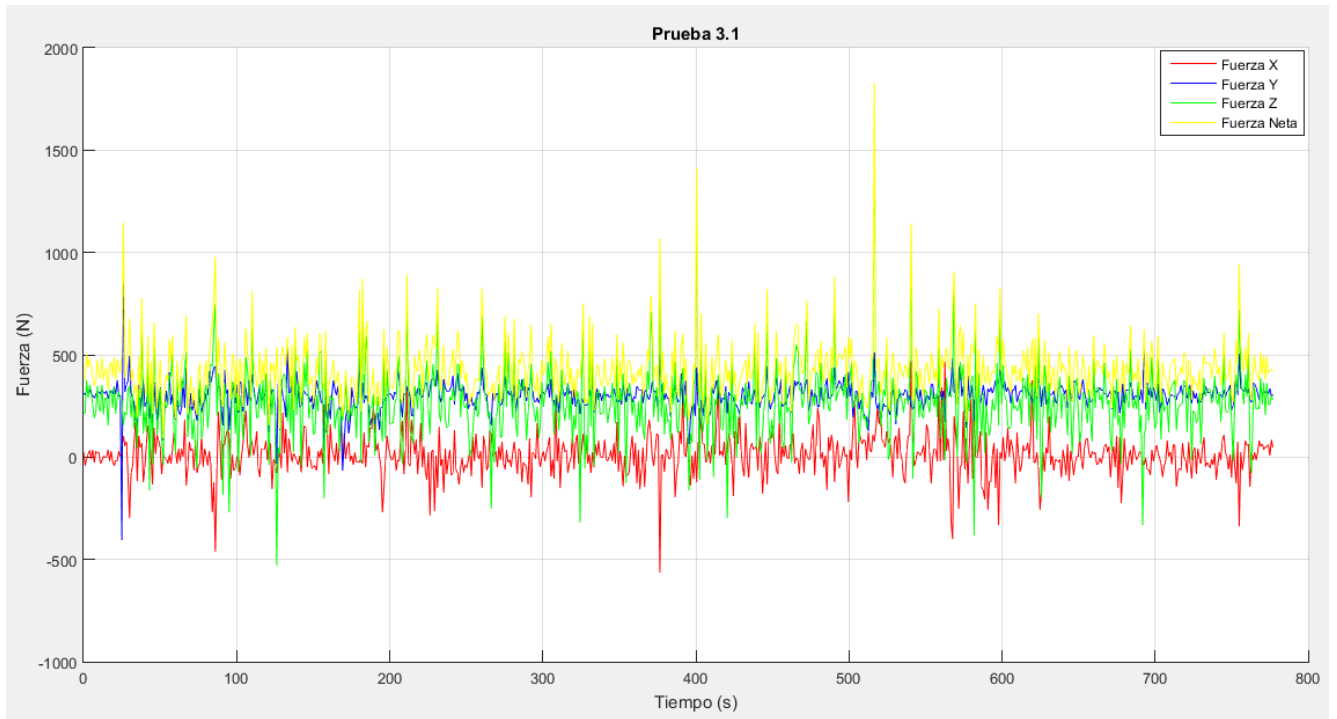


Ilustración 59. Grafica Prueba 3.1. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

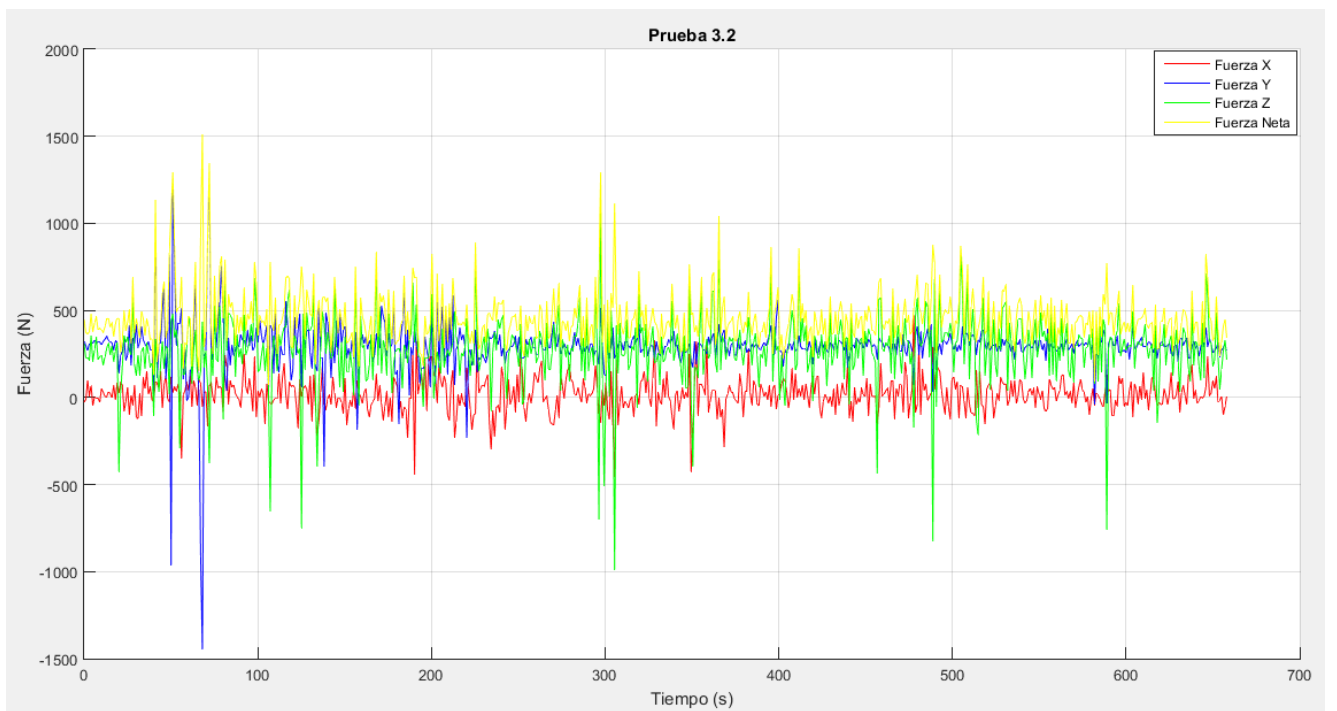


Ilustración 60. Grafica Prueba 3.2. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

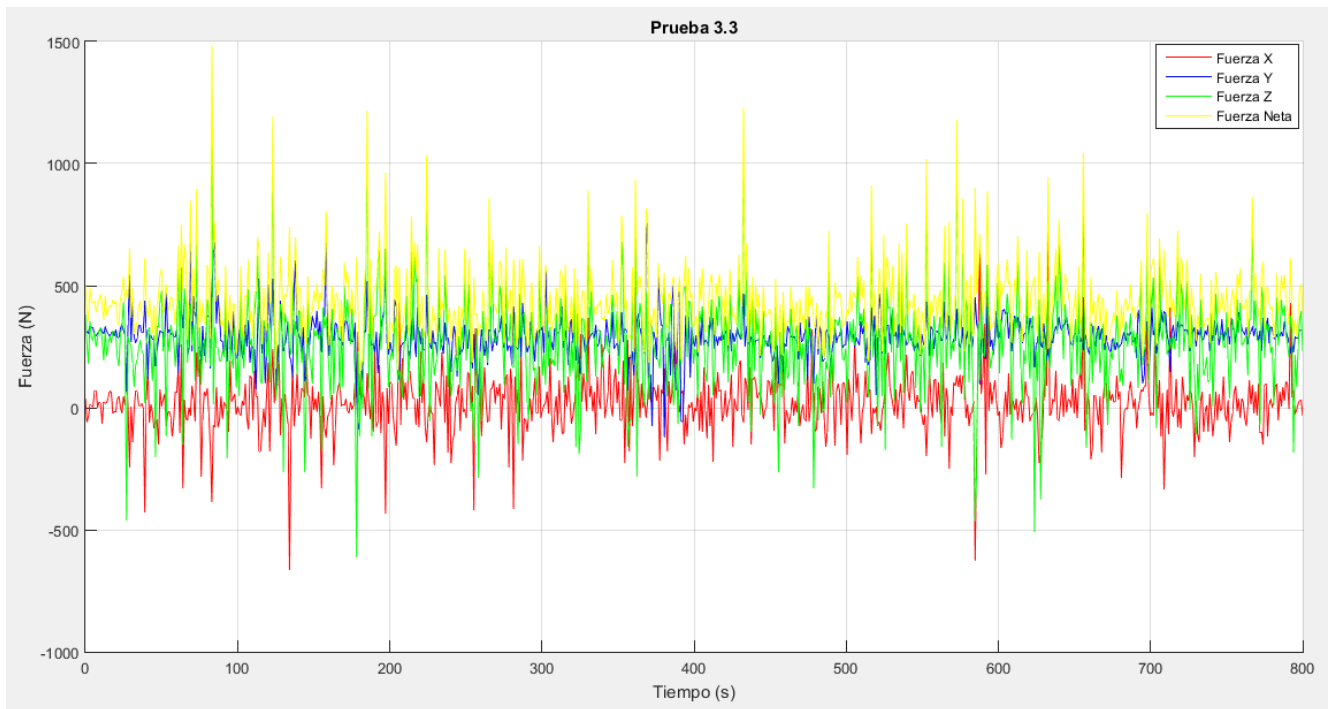


Ilustración 61. Grafica Prueba 3.3. F_x , F_y , F_z y Fuerza Neta.

Las gráficas anteriormente expuestas son el resultado de la medición de fuerzas en X, Y, Z y Fuerza Neta que actúan sobre el cincel. La fuerza X se encuentra representada con el color rojo, las fuerzas en Y son identificadas con el color azul y las fuerzas en Z las representa el color verde. El color amarillo hace referencia a la Fuerza Neta que es igual a calcular el valor de la magnitud de las tres fuerzas mencionadas anteriormente. Los datos son registrados en una unidad de tiempo de segundos y las fuerzas son medidas en Newton.

Se observa que los ejes afectados durante el proceso de labranza son los ejes Y y Z; el eje Y capta las fuerza que actúan de forma frontal al zapato y el eje Z mide las fuerzas que actúan en el zapato por la parte superior o inferior mientras que el eje X mide las fuerzas que actúan de forma horizontal al zapato (ver Ilustración 73).

CAPITULO 4. DISEÑO DETALLADO

4.1 VALIDACIÓN DE DATOS

Luego de realizar las gráficas con los datos experimentales se identificó cual había sido la mayor fuerza generada en el proceso de labranza por el arado tipo cincel, esta fuerza se detectó en la prueba 3.1 el 29 de septiembre del 2015 a las 11:59:30 am su valor fue de 1829,13714 N.

Luego de conocer el valor de la máxima fuerza detectada por el acelerómetro en la prueba 3, debe restarse un valor promedio (430 N) de las fuerzas detectadas en la prueba 1, debido a que el acelerómetro tiene una frecuencia natural y desde el momento en que se polarice se encuentra enviando datos, adicionalmente el acelerómetro es un objeto muy sensible y reacciona al mínimo movimiento.

$$\text{Valor Fuerza Experimental} = \text{Fuerza Máxima} - \text{Fuerza Frecuencia Natural} \quad (48)$$

$$\text{Valor Fuerza Experimental} = 1830 \text{ N} - 430 \text{ N} \quad (49)$$

$$\text{Valor Fuerza Experimental} = 1400 \text{ Newton} \quad (50)$$

El valor de la fuerza experimental debe ser multiplicado por un factor de seguridad estipulado en 2, de esta manera el nuevo valor de la fuerza será:

$$\text{Valor real Fuerza a simular} = \frac{\text{Valor Fuerza Experimental} *}{\text{Factor de seguridad}} \quad (51)$$

$$\text{Valor real Fuerza a simular} = 1400(\text{N}) * 2 \quad (52)$$

$$\text{Valor real Fuerza a simular} = 2800 \text{ Newton} \quad (53)$$

4.2 CÁLCULOS MATEMÁTICOS

4.2.1 Potencia mínima del tractor

Se entiende por potencia la capacidad de ejecutar un trabajo a una velocidad determinada. La potencia del tractor se mide en caballos de fuerza (HP) en la barra de tiro y se puede calcular mediante la ecuación 54:

$$HP = \frac{F * V}{273.74} \quad (54)$$

Donde

F = Es la fuerza requerida para llevar a cabo cierta labor en el campo o para accionar un implemento y colocarlo en posición de trabajo.

V = Velocidad de operación en Km/hora

273.74 = una constante

De la ecuación 54 se despeja la fuerza (F), de esta manera se puede conocer el valor de la fuerza estimada que puede entregar el tractor.

$$F = \frac{HP * 273.74}{V} \quad (55)$$

En la tabla 18 se encuentran las fuerzas estimadas que entrega el tractor a diferentes velocidades, estos cálculos son realizados con la potencia mínima la cual fue tomada del manual del tractor.

Potencia [HP]	Velocidad [K/h]	Fuerza [N]
55	5	10840
55	4	13550
55	3	18066
55	2	27100

Tabla 18. Fuerza teórica estimada entregada por el tracto 5403.

4.2.2 Resistencia al rodamiento

Es la fuerza que opone el suelo al giro de las llantas y se mide en kilogramos. Esta resistencia depende de muchos factores como la fricción interna del suelo, la presión de los neumáticos, la penetración en el suelo y el peso sobre las ruedas. El efecto que esta resistencia produce, expresada en kilogramos, es del 2% del peso bruto del vehículo.

$$\begin{aligned} \text{Resistencia al rodamiento (RR)} \\ &= \text{Peso sobre las ruedas [ton]} \\ & * \text{el factor de resistencia al radamiento [Kg/ton]} \end{aligned} \quad (56)$$

Para calcular el RR debe tenerse en cuenta el peso de la estructura tubular (149 Kg), el soporte del cincel (14 Kg), el cincel (10 Kg) y del zapato (4 Kg), además del peso del tractor (2380 Kg) y de los jornalistas (150 Kg). Reemplazando en la ecuación 56 se obtiene que la resistencia al rodamiento es de:

$$\text{Resistencia al rodamiento (RR)} = 2.707 [\text{ton}] * 50 [\text{Kg/ton}] \quad (57)$$

$$\text{Resistencia al rodamiento (RR)} = 135.35 \text{ kilogramos} \quad (58)$$

4.2.3 Fuerza de tiro total

Tipo de suelo	Energía específica [N/mm ²]	Fricción unitaria [Kg/mm ²]
Suelos Livianos	0.0205947 – 0.0411894	0,21- 0.42
Suelos Francos	0.0343245 – 0.0617841	0.35 -0.63
Suelos Arcillosos	0.0549192 – 0.0987	0.56 - 1.00

Tabla 19. Energía específica para labores agrícolas a diferentes tipos de suelo. Fuente [64].

Debe compararse la fuerza de roturación y la resistencia al rodamiento, para el cálculo de la fuerza de tiro total, se puede utilizar la siguiente ecuación 59:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza de tiro total} &= \text{Area de corte por cada cincel} \\ & * \text{Cantidad de cinces} * \text{friccion unitaria} \\ & + \text{resistencia al rodamiento} \end{aligned} \quad (59)$$

$$\text{Fuerza de tiro total} = 150 \text{ cm}^2 * 1 * \frac{0.21 \text{Kg}}{\text{cm}^2} + 135.35 \text{ Kg} \quad (60)$$

$$\text{Fuerza de tiro total} = 166.85 \text{ Kg} \quad (61)$$

$$\text{Fuerza de tiro total} = 166.85 \text{ Kg} * 9.8 \text{m/s}^2 \quad (62)$$

$$\text{Fuerza de tiro total} = 1635.13 \text{ Newton} \quad (63)$$

4.3 PLANOS ARADO TIPO CINCEL

Los planos realizados al arado tipo cincel, fueron divididos en dos partes; la primera parte hace referencia al levantamiento del CAD (diseño original) de un cincel utilizado por los agricultores en la actualidad, en la segunda parte se encuentran los planos del rediseño al cual fue sometido el cincel (ver Anexo F).

En el primer plano se realiza un despiece al ensamble general con el fin de detallar los componentes que hacen parte del arado tipo cincel, posteriormente se encuentran los planos de cada una de las piezas de la herramienta de labranza (soporte, cincel y zapato).

En los planos del diseño original de la herramienta se encuentra que la medida inicial del espesor del cincel es de 22 mm, el soporte al cual debe ser empotrado el cincel tiene una separación entre sus paredes de 26 mm para permitir el acceso y acople adecuado del cincel, por último se encuentra el zapato pieza que cuenta con un orificio del espesor del cincel.

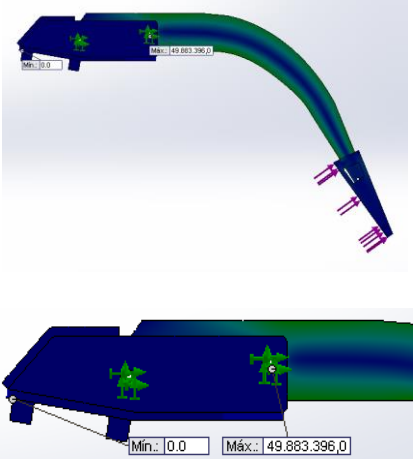
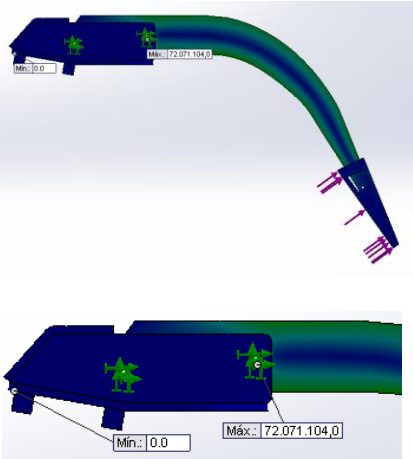
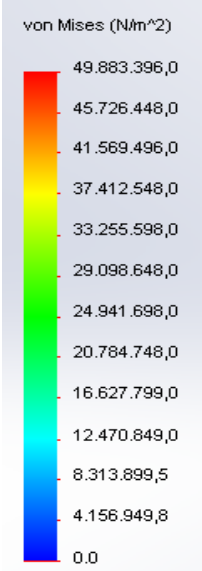
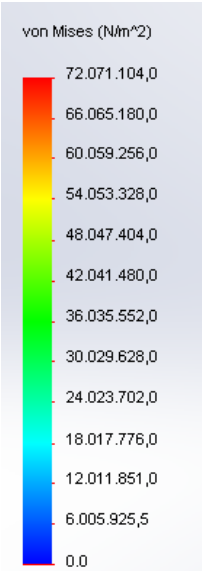
La matriz de selección realizada en el capítulo dos, permitió enfocar el rediseño del cincel hacia una variación en el espesor. En los planos del rediseño se puede observar que las medidas anteriormente expuestas fueron modificadas por el nuevo espesor, tanto en el soporte como en el zapato, debe variarse las medidas con el fin de no alterar la geometría del cincel.

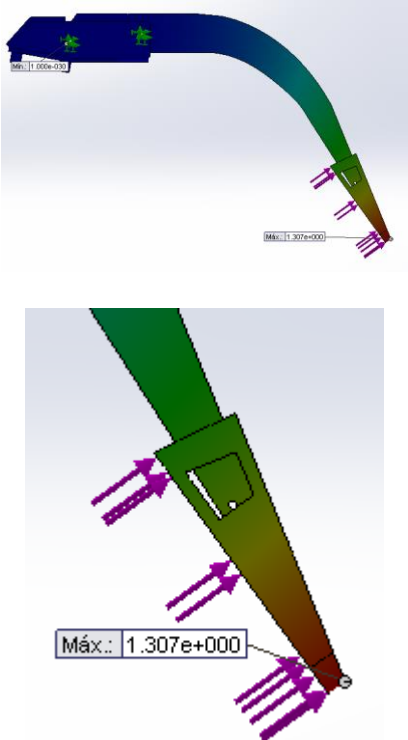
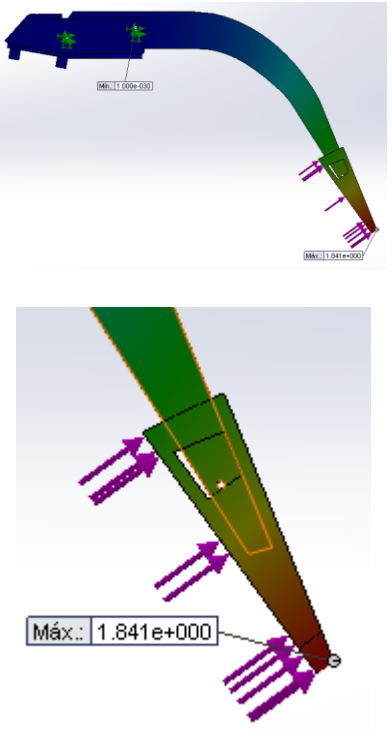
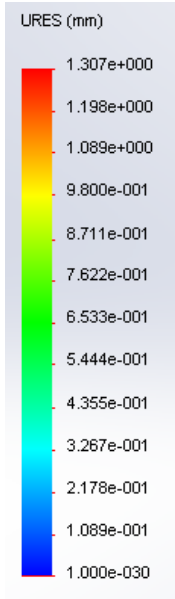
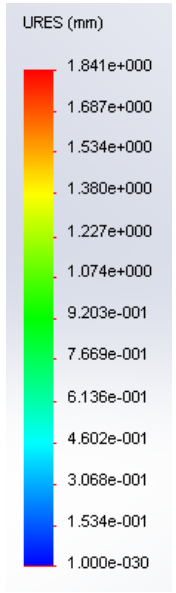
Debe tenerse en cuenta que el cincel es una pieza moldeada con el fin de asegurar los 30 grados de incidencia con respecto al suelo, por esta razón en su geometría se encuentran tres radios diferentes, dos de forma interna y uno por la parte externa. El cincel en su totalidad mide 85 cm, es una pieza fabricada en acero 5160, consta de tres orificios, dos de ellos permiten empotrar el cincel al soporte y el otro es un pequeño orificio que se encuentra ubicado en la parte inferior, tiene como función sujetar un pin de seguridad para que el zapato no se salga del cincel.

El zapato es una pieza de desgaste la cual puede ser cambiada una vez cumpla con su vida útil, esta pieza es ubicada en la punta del cincel, presenta un juego debido a que el cincel no cubre toda la superficie interna, lo anterior no es un problema porque los espacios libres luego son cubiertos con la misma tierra que se va removiendo. El zapato está diseñado en el mismo material que el cincel y tiene un orificio a los costados de forma rectangular con el fin de que sea introducido un pin entre él y el cincel asegurando que la pieza no se saldrá del cincel.

4.4 ANALISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Una vez realizadas las pruebas experimentales y haber realizado las gráficas, las cuales permitieron identificar cual fue la mayor fuerza generada entre el suelo y el cincel, se dio paso a realizar el rediseño del CAD original del arado tipo cincel en el cual se parte de un espesor del cincel de 22mm para ser reducido a 15 mm. Para observar el comportamiento de los dos cincelos se divide en dos etapas el análisis por elementos finitos; una primera etapa en la cual se aplica la fuerza obtenida experimentalmente (1400N) y una segunda etapa en la cual la fuerza es multiplicada por un factor de seguridad de dos (2800N) dando como resultado:

	Cincel Original	Cincel Rediseñado
Datos	Fuerza aplicada 1400 N	Fuerza aplicada 1400 N
Simulación tensiones		
Resultado tensiones		

<p>Simulación desplazamientos</p>		
<p>Resultado desplazamientos</p>		
<p>Simulación deformaciones unitarias</p>		

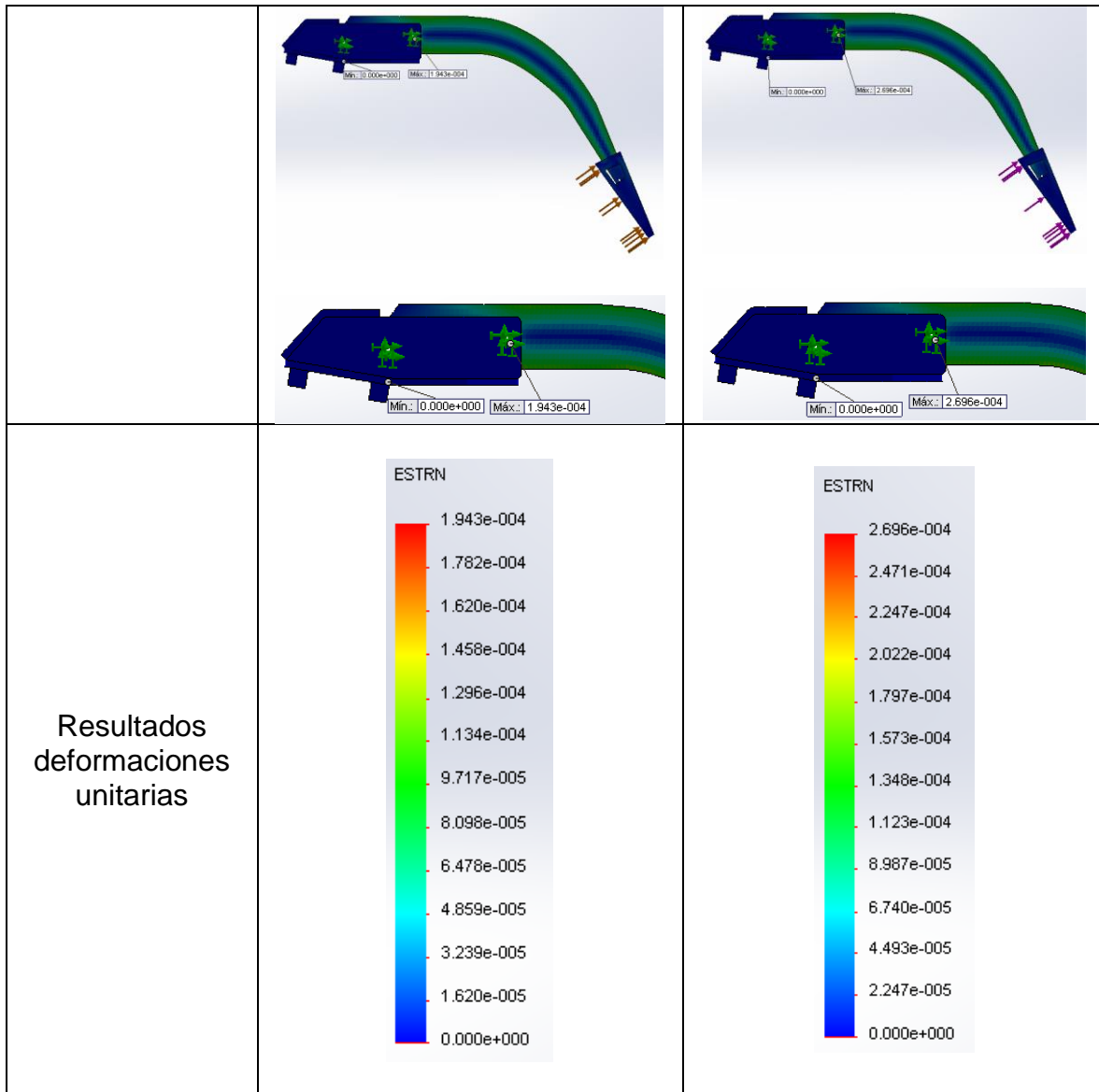
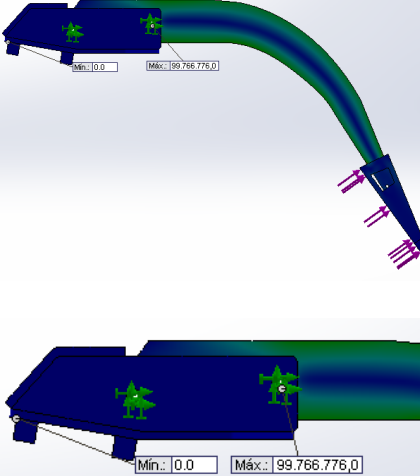
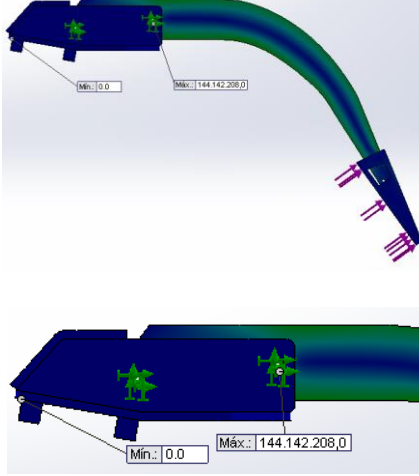
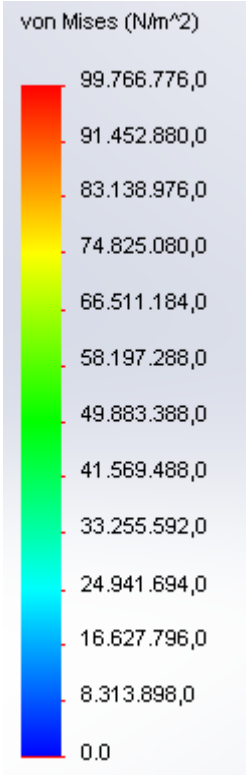
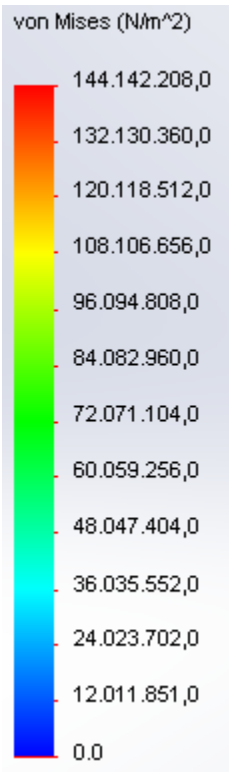
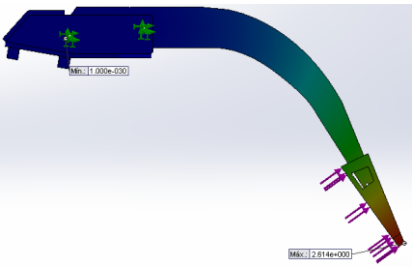
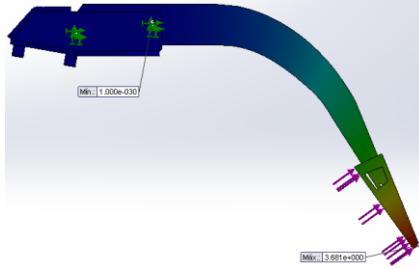
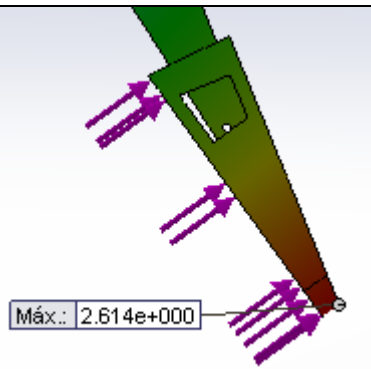
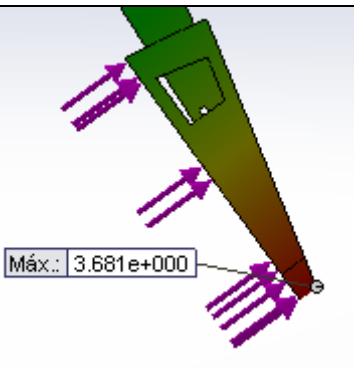
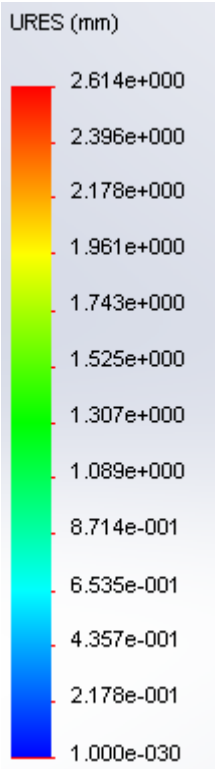
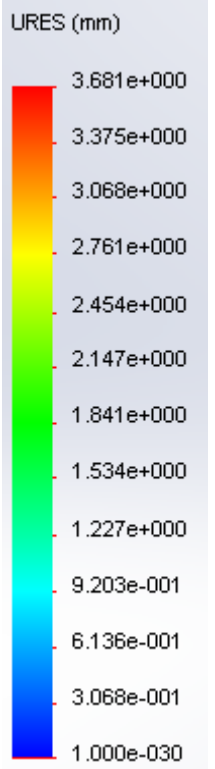
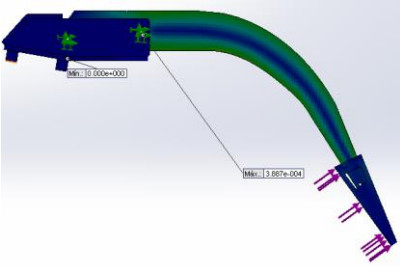
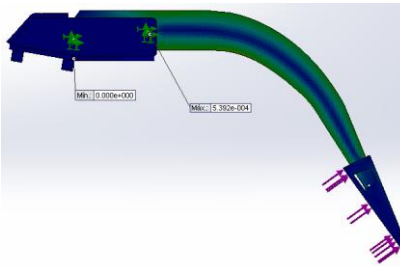


Tabla 20. Simulación por elementos finitos del Arado tipo cincel, diseño inicial y rediseño con una fuerza aplicada de 1430N, imágenes tomadas de SolidWorks®.

Los cinceles son realizados en un acero 5160 el cual es utilizado en la industria automotriz en la fabricación de ballestas, muelles helicoidales para automóvil y ferrocarril, árboles de transmisión, barras de torsión, grandes engranajes, trabajo sin choque, cuchillas para corte en frío de metales, cuchillas para desbaste de maderas, placas de presión para piezas de extrusión, cinceles, bielas, tajaderas, rotores de turbinas, piezas sometidas al desgaste [65].

	Cincel Original	Cincel Rediseñado
Datos	Fuerza aplicada 2800 N	Fuerza aplicada 2800 N

<p>Simulación tensiones</p>		
<p>Resultado tensiones</p>	<p>von Mises (N/m²)</p> 	<p>von Mises (N/m²)</p> 
<p>Simulación desplazamientos</p>		

		
<p>Resultado desplazamientos</p>	 <p>URES (mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.614e+000 2.396e+000 2.178e+000 1.961e+000 1.743e+000 1.525e+000 1.307e+000 1.089e+000 8.714e-001 6.535e-001 4.357e-001 2.178e-001 1.000e-030 	 <p>URES (mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.681e+000 3.375e+000 3.068e+000 2.761e+000 2.454e+000 2.147e+000 1.841e+000 1.534e+000 1.227e+000 9.203e-001 6.136e-001 3.068e-001 1.000e-030
<p>Simulación deformaciones unitarias</p>		

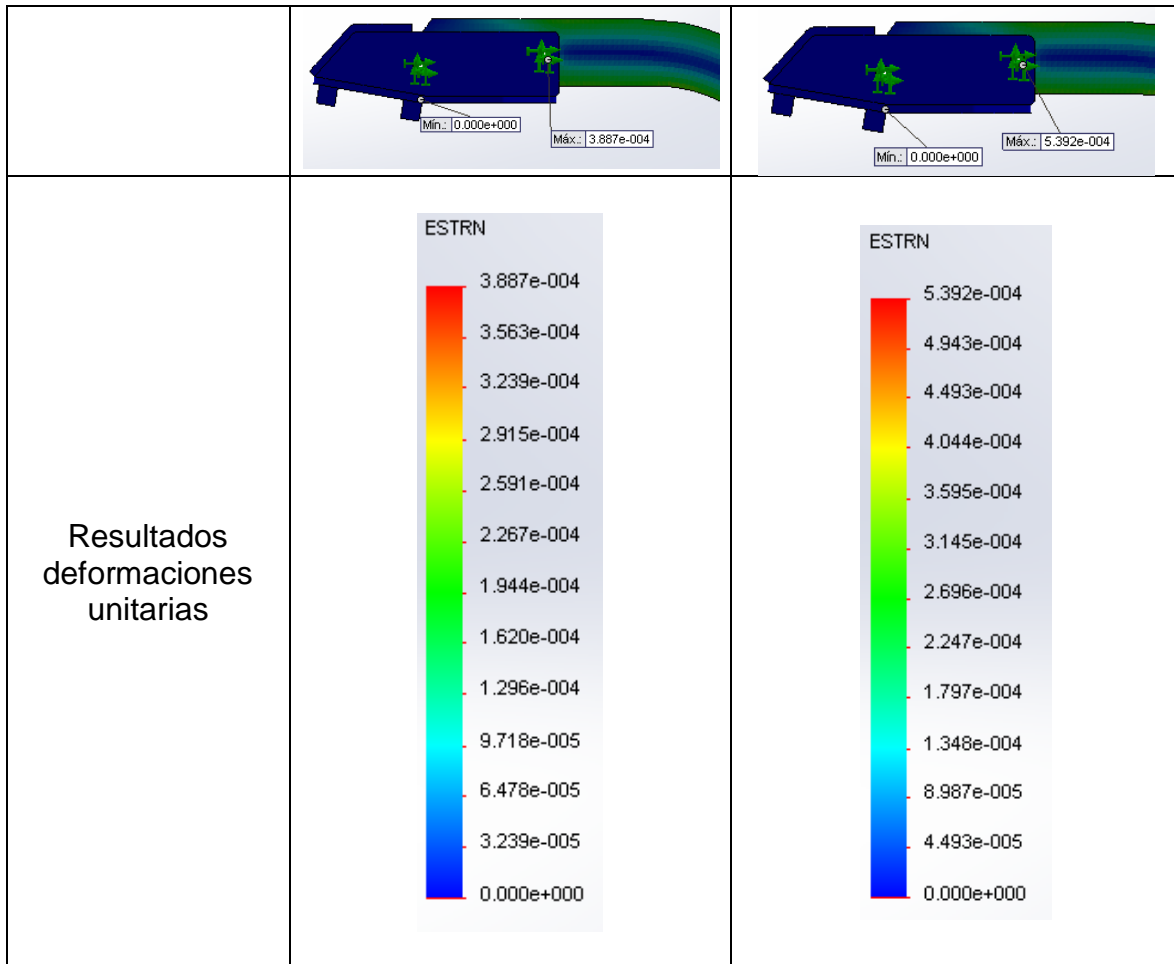


Tabla 21. Simulación por elementos finitos del Arado tipo cincel, diseño inicial y re-diseño con una fuerza aplicada de 2800N, imágenes tomadas de SolidWorks®.

4.5 ANALISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar las pruebas experimentales y los cálculos teóricos se generó cierta discusión frente a los resultados obtenidos como:

- ✓ La fuerza estimada del tractor a cinco kilómetros por hora fue de 10840 Newton con una potencia mínima de 55 HP, dato que fue calculado con una velocidad promedio debido a que en algunas pruebas la velocidad del tractor fue de 3 kilómetros por hora, en otras de 6.5 kilómetros por hora. Dato que permite identificar que el valor de la fuerza medido por el acelerómetro se encuentra dentro del rango y no es un dato incoherente.
- ✓ Detectada una vez la fuerza mínima requerida por el tractor se calculó la fuerza de tiro, la cual debía seguir siendo mayor a la fuerza detectada experimentalmente entre el cincel y el suelo, de esta manera se asegura que la fuerza obtenida experimentalmente es un valor aceptado y coherente. La fuerza de tiro se calculó en 1635,13

Newton y la fuerza experimental una vez restada la frecuencia natural del acelerómetro fue de 1400 Newton.

- ✓ En el desarrollo de las simulaciones por análisis de elementos finitos son utilizadas dos fuerzas, la fuerza original medida de forma experimental y la misma fuerza multiplicada por un factor de seguridad de dos, de estos resultados se observa que en ambas simulaciones el valor máximo de las tensiones no supera el límite elástico del material 275 [M Pa] ($M N/m^2$), la tensión máxima a una fuerza de 2800 N cuando el espesor es de 22mm es de 99.76 [M Pa], una vez el espesor es cambiado a 15 mm la fuerza máxima es de 144.14 [M Pa], la tensión máxima a una fuerza de 1400 N con un espesor en el cincel de 22 mm es de 49.88 [M Pa] y con un espesor de 15 mm es de 72.07 [M Pa], lo cual permite deducir que la variación realizada en el espesor del cincel es viable.
- ✓ El resultado de las deformaciones unitarias observado en el diseño original con una fuerza aplicada de 1400 N, permite deducir que el máximo desplazamiento por milímetro es de 0.0001943 mm, al aplicar una fuerza de 2800 N el desplazamiento por milímetro varía a 0.0003887 mm. Una vez modificado el cincel los valores de la deformación unitaria aumentan dependiendo la fuerza aplicada, a 1400 N el desplazamiento por milímetro es de 0.0002696 mm y con una fuerza de 2800 N la deformación es de 0.0005392 mm.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de grado logró cumplir con el objetivo principal de diseñar, simular, evaluar y rediseñar un prototipo de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos para pequeños agricultores. El trabajo cuenta con un levantamiento de CAD enfocado en un arado tipo cincel utilizado en la actualidad por los diferentes agricultores, debido a que este sistema no maltrata la tierra de cultivo logrando mejoras en el medio ambiente.

El circuito electrónico diseñado y posteriormente utilizado capaz de adquirir señales de un acelerómetro, permitió adquirir los datos de las fuerzas que actúan en el cincel durante el proceso de labranza de forma confiable, para el análisis por elementos finitos aplicado al levantamiento del CAD con el propósito de realizar un rediseño de este mismo.

Con base en los Análisis por Elementos Finitos se rediseñó el modelo inicial (CAD) que se había realizado, de esta manera se plantea un nuevo cincel con el cual se pretende reducir la fuerza suministrada por el tractor, la fuerza de tiro, la resistencia al rodamiento logrando generar un menor consumo en la energía requerida por la labor de labranza y por ende un ahorro de combustible en el tractor, haciendo referencia este trabajo al cuidado del medio ambiente y el uso racional de los recursos.

El proyecto de alto impacto aprobado por la vicerrectoría de la universidad militar nueva granada, titulado “Diseño de un sistema para la preparación de suelo de forma automatizada para cultivos orgánicos dirigido a pequeños agricultores- Fase1” Código: IMP ING 1778, el cual será ejecutado a partir del primer semestre del 2015. Se presenta como una buena opción para empezar a enfocar trabajos agrícolas con el fin de tecnificar la producción agroindustrial. Debido a que en el trabajo realizado se observó que el sector agrícola se encuentra olvidado por la industria, se está dejando de lado lo que en un futuro será la principal fuente económica para el país, debido a la demanda de alimentos por el crecimiento en las poblaciones. Se necesita que el sector industrial invierta en investigación, en proyectos y sobre todo que se cambie la forma de pensar, los dineros que se inviertan hoy en día en desarrollo más adelante se verán reflejados en ganancias, basadas en la productividad y eficiencia a la hora de cultivar.

Debido al trabajo realizado durante el desarrollo de estas pruebas se logró redactar y enviar un artículo al IV Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y Automatización - CIIMA 2015, el cual fue aprobado y fue expuesto el día 22 de octubre del 2015 en Medellín en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA).

RECOMENDACIONES

Luego de realizar el experimento y de observar las situaciones vividas durante el desarrollo de este trabajo se recomienda:

- ✓ Disponer de un tractor que su sea diseñado para realizar procesos de agricultura, debido a que las pruebas realizadas en este trabajo fueron afectas por las características del tractor (ver ilustración 70 en anexo C) en cuanto a que su chasis no se encontraba lo suficientemente elevado del suelo y por ende la estructura chocaba con las ruedas si se pretendía trabajar a una profundidad mayor (ver ilustración 81 en anexo D).
- ✓ Se recomienda trabajar con un tractor con la misma potencia o mayor a esta, debido a que a la variedad de suelos existentes en Colombia es amplia y no todos los terrenos exigen de igual manera al tractor.
- ✓ Se recomienda realizar las pruebas que se llevaron a cabo en este trabajo, pero en otro tipo de terreno bajo las mismas condiciones y si es posible también bajo otro tipo de condiciones, con el fin de obtener más datos que permitan realizar comparación frente a la forma en que funciona y se comporta el arado tipo cincel.
- ✓ Realizar una prueba de campo en la cual se pueda observar la forma en que trabaja el arado tipo disco con el fin de observar las diferencias entre los dos tipos de arados, y poder ratificar la idea que nos hizo desistir del arado de disco y es la protección del medio ambiente (según la literatura consultada).

TRABAJO A FUTURO

Basados en las pruebas realizadas y en el experimento que se desarrolló para lograr medir la fuerza realizada por el arado tipo cincel se plantea para los próximos trabajos futuros:

- ✓ Se sabe que el ángulo ideal con el cual debe ser perforado el suelo por el cincel es de 30 grados (según la literatura), se recomienda realizar algunas mediciones en donde el ángulo de incidencia sea mayor y menor a 30 grados, debido a que no todos los terrenos son iguales y por ende algunos podrían ser trabajados con otro ángulo logrando ciertas ventajas en el proceso de agricultura.
- ✓ El diseño utilizado para la medición de fuerzas en este experimento solo contaba con una cama que fue realizada en la parte posterior del zapato, para un trabajo futuro se podría diseñar una pieza con una cama más profunda o interna dentro del zapato, de esta manera se podría sujetar o proteger el acelerómetro de una mejor manera, en este orden de ideas en la parte posterior del cincel podría generarse una chaveta del espesor de los cables y así protegerlos del terreno. De esta manera podrían realizarse pruebas a mayor profundidad, en terrenos muy duros, húmedos, etc. Logrando una mayor confiabilidad en las conexiones y en el acelerómetro.
- ✓ Mediante el desarrollo de este trabajo se tiene conocimiento frente a la fuerza mínima, la fuerza de tiro y la fuerza generada entre el suelo y el cincel, datos que fueron obtenidos por un solo cincel que se encontraba ubicado en la mitad de una estructura tubular, para trabajos futuros se podrían realizar las mismas pruebas con varios cincelos de forma que permita comparar los datos entre uno o más, logrando determinar si todos los cincelos trabajan de la misma forma.
- ✓ Teniendo en cuenta que ya se diseñó un sistema de medición de fuerzas se puede hacer un desarrollo experimental para poder caracterizar el comportamiento a fatiga del cincel como herramienta de labor agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Grupo de investigación ACR 126 Mecanización y tecnología rural de la Universidad de Córdoba, *Tecnologías avanzadas en la mecanización de la agricultura sostenible en andalucía*, Andalucía.
- [2] N. H. Abu-Hamdeh y R. C. Reeder, «A nonlinear 3D finite element analysis of the soil forces acting on a disk plow,» *Soil and Tillage Research* , vol. 74, nº 2, pp. 115-124, 2003.
- [3] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, *Siembra directa*, Argentina: Ministerio de agricultura, ganadería y pesca, 2011.
- [4] F. J. García Ramos y A. Bone Garasa, *Principales regulaciones de los arados de vertedera*, España: Escuela Politécnica Superior de Huesca.
- [5] Escudero, «Modelo FB,» [En línea]. Available: <http://www.hermanosescudero.com/index.php?seccion=productos&idempresa=67&cat=&subcat=&prod=7450&idioma=en>. [Último acceso: 30 06 2015].
- [6] John Deere, «Arados de Discos,» [En línea]. Available: https://www.deere.com/es_LA/products/equipment/tillage/disks/disks.page. [Último acceso: 30 06 2015].
- [7] J. Carrasco J y J. Riquelme S, «Aradura convencional Arados de vertedera y de discos,» Boletín INIA, N 173, pp. 81-89.
- [8] J. Carrasco Jiménez, J. F. Pasten D y J. Riquelme S, «Manejo de suelos para la plantación y replante,» Boletín INIA, N 173, Capítulo 3, pp. 1-26.
- [9] Montana, «Arado de cincel Vibratorio,» [En línea]. Available: <http://www.maquinariamontana.com/index.php/labranza/arado-de-cincel-vibratorio>. [Último acceso: 30 06 2015].
- [10] P. E. Agudelo Giraldo, «Estudio de desgaste de recubrimientos duros en una herramienta de arado tipo cincel,» de *Facultad de Minas, Departamento de Materiales y Minerales*, Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [11] SAC sociedad de agricultores de Colombia, *Sector Agroindustrial Colombiano*, Colombia: Proexport Colombia, 2012.
- [12] S. Molina Cruz, *Sistema informático para el desarrollo de habilidades de gestión de la información*, Mexico: Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de informática, 2014.
- [13] P. Nei y F. Bautista, Alistamiento de áreas de siembra, Bogotá: Universidad Nacional , 2010.
- [14] M. Del Rio Salio, *Generación de rutas para el guiado de un tractor en una parcela agrícola mediante GPS*, España: Universidad de Valladolid, 2006.

- [15] F. A. Freitez Sánchez, Prototipo de software utilizando GPS y transmisión de datos por vía inalámbrica, para el control y seguimiento de cosechadoras mecanizadas de caña de azúcar en la agropecuaria el retorno, C.A, Barquisimeto: Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", 2009.
- [16] W. ZHANG, X. HAN y J. jing SUN, «Mathematical model of electric hydraulic and powered support control system at a plough mining face,» *Journal of China University of Mining and Technology* , vol. 18, nº 1, pp. 55-58, 2008.
- [17] J. Carrasco J y J. Riquelme S, «Aradura convencional Arados de vertedera y de disco,» 2000, p. 83.
- [18] F. Inastroza J y L. Patricio Méndez, «Preparación de suelo,» INIA Carillanca.
- [19] L. Márquez, «Arados de disco,» *Agro-técnica*, pp. 52-59, 2000.
- [20] V. Ortiz Albán, «Diseño, construcción y evaluación de un sistema de arado de discos reversible.,» de *Carrera de ingeniería automotriz*, LATACUNGA-ECUADOR, Escuela Politécnica del ejército, 2008.
- [21] R. López Garrido, «Laboreo de conservación: efectos a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos,» de *Consejo superior de investigaciones científicas*, Sevilla, Universidad de Sevilla, Noviembre del 2010.
- [22] J. Corredor, «Diseño de un sistema para la preparación de suelo de forma automatizada para cultivos orgánicos dirigido a pequeños agricultores,» Bogotá, 2014.
- [23] L. Wang, H. Gong, X. Xing y J. Yuan, «Rigid dynamic performance simulation of an offshore pipeline plough,» *Ocean Engineering* , vol. 94, nº 0, pp. 51-66, 2015.
- [24] P. Soni, V. Salokhe y H. Nakashima, «Modification of a mouldboard plough surface using arrays of polyethylene protuberances,» *Journal of Terramechanics* , vol. 44, nº 6, pp. 411-422, 2007.
- [25] A. Araya, X. Xiong, H. Zhang, K. Araya, C. Teramoto, T. Kataoka, K. Ohmiya, F. Liu, H. Jia, C. Zhang, B. Zhu, N. Wang, Q. Meng, Y. Harano y M. Ozima, «Deep Tillage Plough down to 600 mm for Improvement of Salt-affected Soils: Part 3: Field Experiments,» *Engineering in Agriculture, Environment and Food* , vol. 5, nº 3, pp. 107-115, 2012.
- [26] H. González, «Desarrollo de un modelo para determinación de abrasividad de suelos con características verticales,» de *Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia*, Medellín, Tesis de doctorado, 2012.
- [27] Dirección general de promoción del trabajo, *Población y principales indicadores demográficos de Colombia*, Bogotá.
- [28] J. J. Perfetti, Á. Balcázar, A. Hernández y J. Leibovich, «Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia,» Bogotá D.C, SAC y Fedesarrollo, 2013.
- [29] Inamec Industria agrícola metalmecánica, «Rastras pulidoras,» [En línea]. Available: <http://inamec.com/project/preparacion-y-labranza/>. [Último acceso: 23 02 2015].
- [30] Inamec industria agrícola metalmecánica, «Rastras Preparadoras y Aradoras,» [En línea]. Available: <http://inamec.com/project/preparacion-y-labranza/>. [Último acceso: 23 02 2015].

- [31] John Deere, [En línea]. Available: http://www.deere.com/en_US/regional_home.page. [Último acceso: 27 05 2015].
- [32] Montana, «Arado de cincel Rígido,» [En línea]. Available: <http://www.maquinariamontana.com/index.php/labranza/arado-de-cincel-rigido>. [Último acceso: 29 05 2015].
- [33] Inamec industria agricola metalmecanica, «Renovador de Praderas,» [En línea]. Available: <http://inamec.com/project/renovador-de-praderas/>. [Último acceso: 23 02 2015].
- [34] All-Biz, [En línea]. Available: <http://www.co.all.biz/>. [Último acceso: 15 12 2014].
- [35] Gildemeister Maquinarias, «Trabajo del suelo,» [En línea]. Available: <http://www.mgildemeister.cl/suelo-arado.html>. [Último acceso: 23 02 2015].
- [36] O. Pacheco Borroto, *Medidas de conservación para suelos potencialmente erosionables*, Tesis en opción al título de Master Science en Fertilidad del Suelo .
- [37] L. E. E. Estrada, C. L. Elizalde, Y. I. E. Estrada y E. C. Román, «Formas de preparar el terreno de siembra para obtener buenas cosechas,» *Revista Alternativa*, vol. V, nº 13, pp. 1-9, 2007.
- [38] A. C. Marín, M. B. Cuesta, P. d. R. González y Y. V. d. Abreu, «Los peligros de la Erosión y la Desertificación,» de *Desarrollo sostenible en españa en el final del siglo XX*, España, , EUMED, 2011, pp. 38-42.
- [39] A. V. den Putte, G. Govers, J. Diels, C. Langhans, W. Clymans, E. Vanuytrecht, R. Merckx y D. Raes, «Soil functioning and conservation tillage in the Belgian Loam Belt,» *Soil and Tillage Research* , vol. 122, nº 0, pp. 1-11, 2012.
- [40] H. A. Gonzáles Sánchez, «Impacto ambiental de la labranza mecánica convencional,» Medellín, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 1999.
- [41] A. M. Bravo Mero, J. E. Bravo, R. A. Macias Bravo y A. J. Correa Solorzano, *Diseño y construcción de un centro de operación y manejo de tractores, implementos y equipos agrícola de la facultad de ingeniería agrícola*, Ecuador: Universidad Técnica de MANABÍ, 2013.
- [42] C. M. Delgado Marcillo, J. C. Palomeque Beltrón y D. F. Véliz Mendoza, *Reparación y mantenimiento del tractor FIAT 880 dt como unidad de poder para el equipo tipo Benfra*, Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ , 2009.
- [43] E. Cortés, J. Botero y J. Gómez, «Mecanización agrícola: prácticas y equipos,» Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [44] Maquinaria Montana , «Arado de cincel Rígido,» [En línea]. Available: <http://www.maquinariamontana.com/index.php/labranza/arado-de-cincel-rigido>. [Último acceso: 18 06 2015].
- [45] Intall Interagro, *Arado de cincel vibratorio*, Bogotá.
- [46] Consejo nacional de la cultura y el arte, «Museo campesino y de los antiguos oficios,» [En línea]. Available: <http://www.museocampesino.cl/labranza.html>. [Último acceso: 26 08 2015].

- [47] Zamorano, «Biblioteca Wilson Popenoe,» 2012. [En línea]. Available: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1335/4/04.pdf>. [Último acceso: 27 Mayo 2015].
- [48] PROMECH, «Preparación de suelos con tracción motriz,» pp. 78-101.
- [49] M. J. Vieira, «Uso del arado de cincel para la producción agrícola y la conservación de suelos y agua.,» San Jose, Costa Rica, MAG-FAO, 1996, p. 41 .
- [50] Servicio de Agricultura de la FAO, «Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible,» [En línea]. Available: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/tme/tools.pdf. [Último acceso: 15 04 2015].
- [51] J. E. Ashburner y B. G. Sims, «Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza,» San Jose de Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1984, pp. 265-269.
- [52] H. M. Maldonado Villavicencio y L. A. Sigüenza Maldonado, *Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la Empresa Minera Dynasty Mining del canton Portovelo*, Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana sede Cuenca, 2012.
- [53] P. I. Escalante Pastor, *Diseño e implementacion del programa de mantenimiento preventivo en tractores agricolas del ingenio guadalupe*, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1998.
- [54] J. d. J. Peña Camacho, *Relaciones entre el suelo, el tiro y la tracción*, Sede Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- [55] John Deere, «Tractor 5403,» [En línea]. Available: https://www.deere.com/es_LA/docs/industry/agriculture/tractors/s_5403.pdf. [Último acceso: 10 11 2015].
- [56] FIRTEC®, «Curso ARM Cortex,» [En línea]. Available: <http://www.firtec.com.ar/cms/cursos>. [Último acceso: 28 09 2015].
- [57] St STM32F4 Discovery, «Guía de iniciación al kit de evaluación,» 09 11 2012. [En línea]. Available: http://www.disca.upv.es/aperles/arm_cortex_m3/curset/guia_iniciacion_STM32F4_discovery.pdf. [Último acceso: 28 09 2015].
- [58] ST life.augmented, «Discovery kit with STM32F407VG MCU,» [En línea]. Available: <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419>. [Último acceso: 30 09 2015].
- [59] AlphaCrucis, «Domotique & Robotique,» [En línea]. Available: <http://www.alpha-crucis.com/es/xbee/1824-xbee-pro-50mw-wire-antenna-series-2-zb-3700386104213.html>. [Último acceso: 28 09 2015].
- [60] Tech Help Blog, «A Technical Support Blog,» 5 12 2012. [En línea]. Available: <http://www.techhelpblog.com/2012/12/05/xbee-s1-802-15-4-guide/>. [Último acceso: 28 09 2015].
- [61] EEK factory, [En línea]. Available: http://www.geekfactory.mx/?taxonomy=product_type&term=simple. [Último acceso: 24 09 2015].

- [62] Freescale semiconductor, «Technical data,» 04 2008. [En línea]. Available: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7361L.pdf. [Último acceso: 18 09 2015].
- [63] Vistronica, «Tienda virtual de electronica,» [En línea]. Available: <http://www.vistronica.com/sensores/modulo-acelerometro-mma7361-detail.html>. [Último acceso: 14 09 2015].
- [64] H. Camacho y otros, 1991.
- [65] ACEROSCOL s.a.s. La compañía de sus aceros , «SAE 5160,» [En línea]. Available: <http://www.aceroscol.com/?p=b10403>. [Último acceso: 12 10 2015].
- [66] Intall Interagro, Manual de funcionamiento de un arado de cincel rígido, Bogotá, 2014.
- [67] Intall Interagro, Manual de Funcionamiento de un arado de cincel vibratorio, Bogotá, 2014.

ANEXOS

ANEXO A: Arado de Cincel Rígido

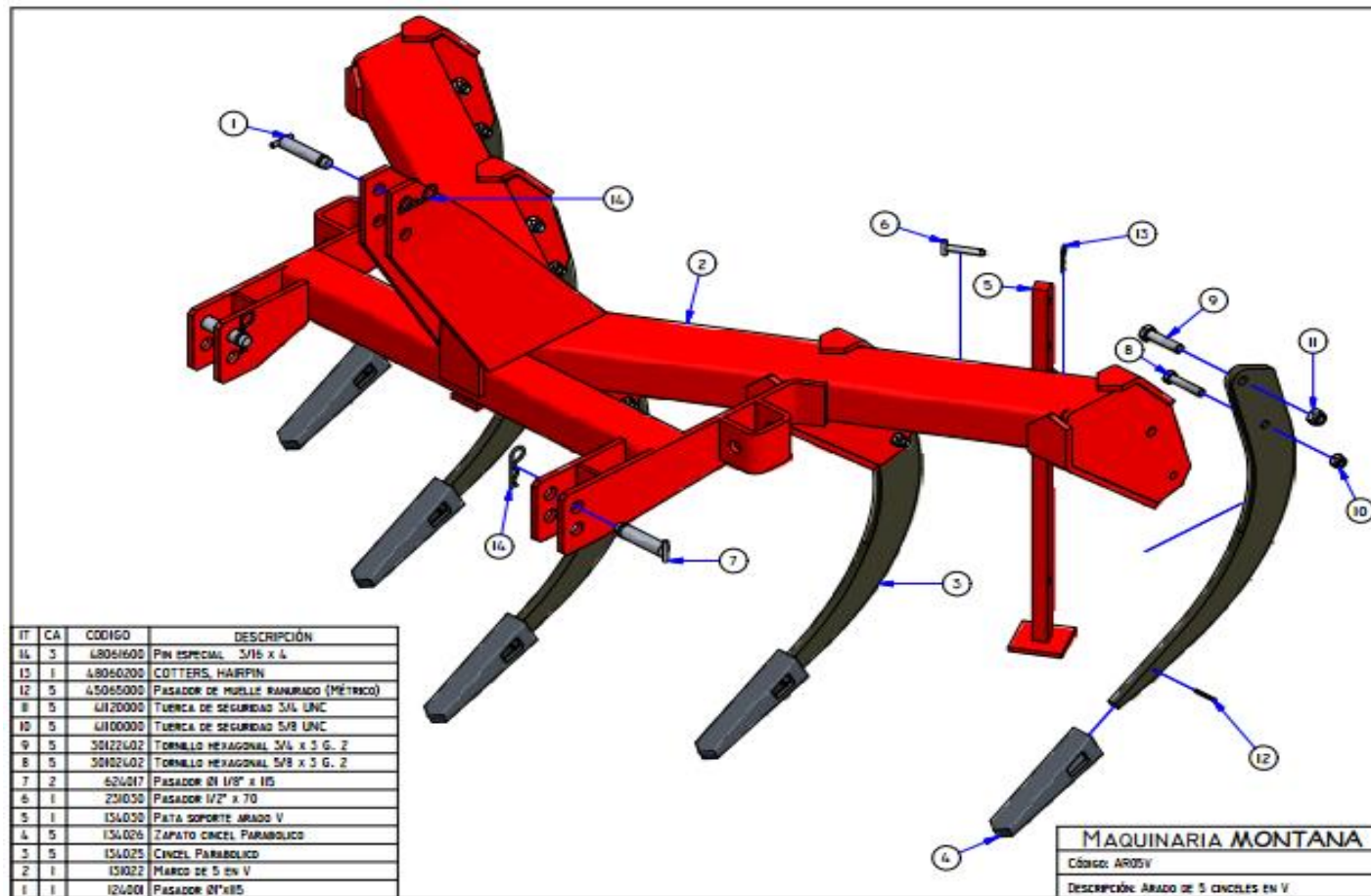


Ilustración 62. Arado de cincel rígido
Fuente [66]

ANEXO B: Arado de Cincel Vibratorio

	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AZ605	AZ607	AZ609	AZ611
1	NG12	GUAZA 3/4"	21	35	49	63
2	UH12C	TUERCA 3/4"	21	35	49	63
3	T2HI2CC-08	TORN. HEX. 3/4x2 G.2	6	14	22	30
4	I206	TORRE CM72	1	1	1	1
5	9007	PASADOR AZ7 1"XII9	8	10	12	14
6	IE05-15	PIN ESPECIAL 5/32"	8	10	12	14
7	3001	MARCO ARADO ALCE	1	1	1	1
8	3006	TEMPLETE ARADO	1	1	1	1
9	3060	EXTENSION 7 GANCHOS		2		2
10	3061	EXTENSION 9 GANCHOS			2	2
11	US12C	TUERCA SEGURIDAD 3/4"	30	42	54	66
12	NP12	ARANDELA 3/4"	10	14	18	22
13	3025	PLATINA SOP.RESORTE	5	7	9	11
14	O6054	RESORT.12.ESP. RPT.	10	14	18	22
15	G3028-G5	GRAPA RESORTE ARADO 95	5	7	9	11
16	3054	SOPORTE PIVOT GAN 95	5	7	9	11
17	T2HI2CC-12	TORN. HEX. 3/4x3 G.2	5	7	9	11
18	3053	ASIENTO GANCHO 95	5	7	9	11
19	3026	PLATINA SOP.GANCHO	5	7	9	11
20	TDA08CC-10	TORN. DISCO ARADO	10	14	18	22
21	Z3020	PUNTA CINCEL VIBRATORIO	5	7	9	11
22	NP08	ARANDELA 1/2"	10	14	18	22
23	NG08	GUAZA 1/2"	10	14	18	22
24	UH08C	TUERCA 1/2"	10	14	18	22
25	ZG3110	CINCEL VIBRATORIO	5	7	9	11
26	T2HI2CC-14	TORN. HEX. 3/4x3 1/2 G.2	10	14	18	22
27	G3101-G5	GRAPAS ARADO DE 3/4 GR5	10	14	18	22

Ilustración 63. Elementos sistema de Arado de cincel vibratorio
Fuente [67]

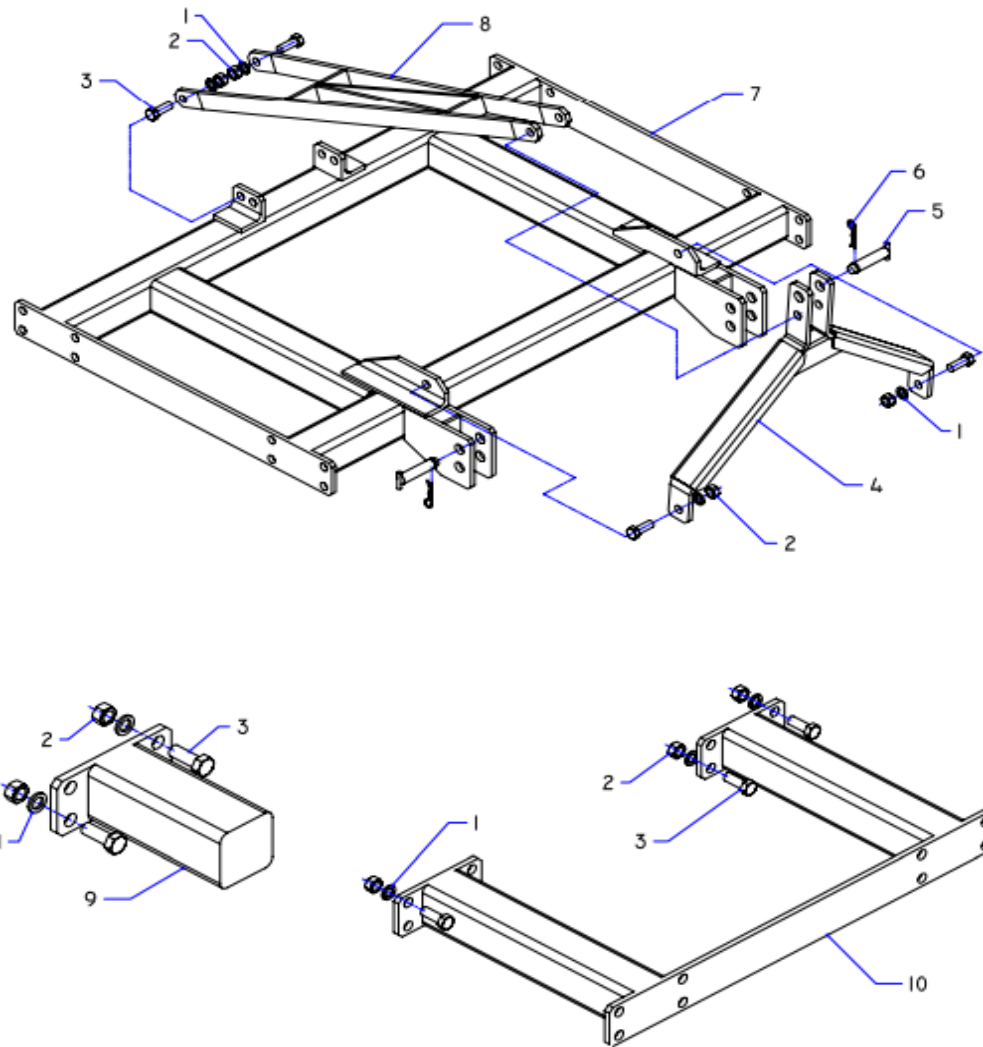


Ilustración 64. Componentes de estructura tubular sistema de Arado De Cincel Vibratorio
Fuente [67]

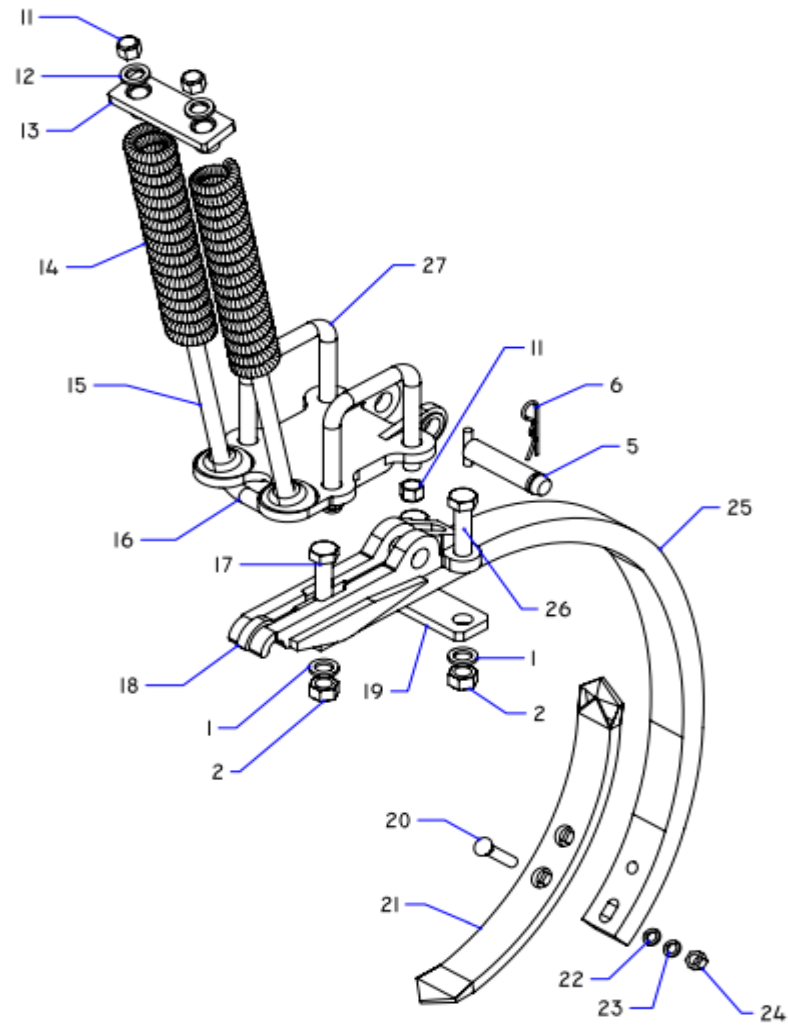


Ilustración 65. Componentes de Cincel Vibratorio
Fuente [67].

ANEXO C: Pruebas de Campo



Ilustración 66. Tractor con el cual se realizaron pruebas.



Ilustración 67. Estructura tubular, soporte y cincel.



Ilustración 68. Anclaje arado tipo cincel al tractor.



Ilustración 69. Computador con módulo XBee encargado de la recepción de datos.

Acelerómetro

XBee
(Transmisión de datos)

STM32F407



Ilustración 70. Tractor con arado tipo cincel y circuito eléctrico.



Ilustración 71. Polarización circuito electrónico.



Ilustración 72. Arado tipo cincel a una profundidad de 20cm aproximadamente.



Ilustración 73. Arado tipo cincel elevado de la superficie.



Ilustración 74. STM32f407 y XBee de transmisión de datos

ANEXO D: Levantamiento de información



Ilustración 75. Terreno arado en la Sabana.



Ilustración 76. Rotobator.



Ilustración 77. Rotobator con discos.



Ilustración 78. Arado tipo cincel vibratorio en campo.



Ilustración 79. Rastra pesada en campo.



Ilustración 80. Tipo de Arado.



Ilustración 81. Tractor para el sector agrícola.



Ilustración 82. Arado de disco en el campo.



Ilustración 83. Arado tipo cincel 1 en el campo.



Ilustración 84. Arado tipo cincel 2 en el campo.

ANEXO E: Programación Tarjeta STM32F407VG

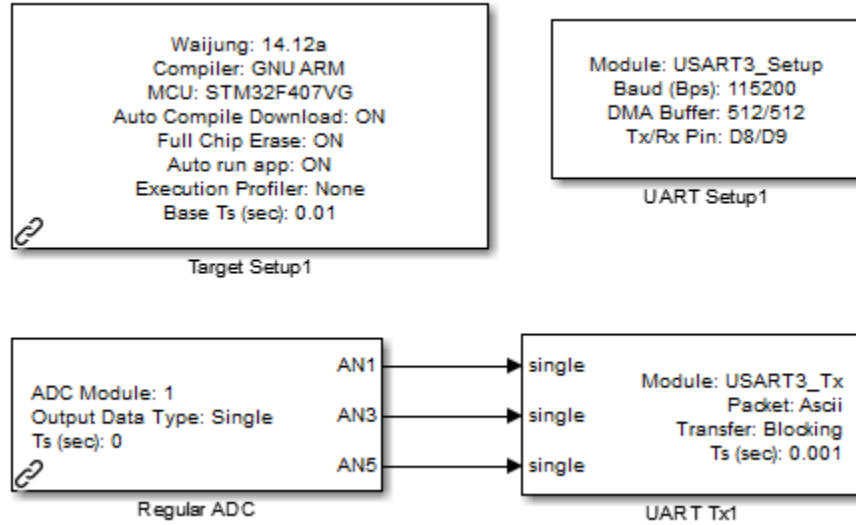


Ilustración 85. Programación y configuración Tarjeta STM32F407VG.

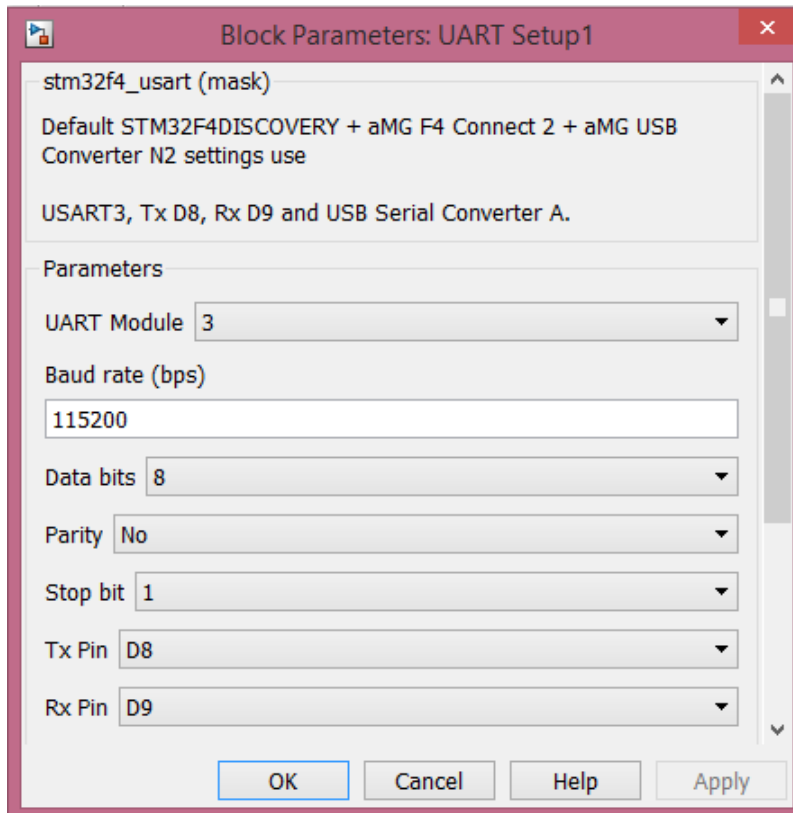


Ilustración 86. Parámetros de configuración módulo UART de la STM32F407VG.

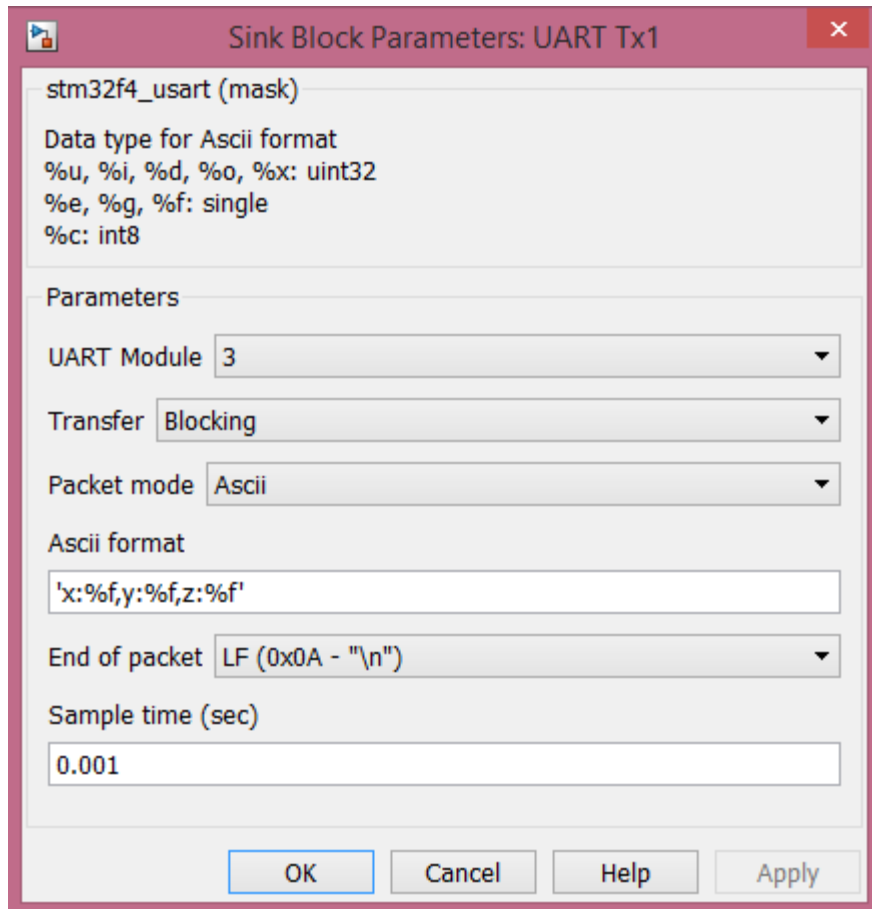
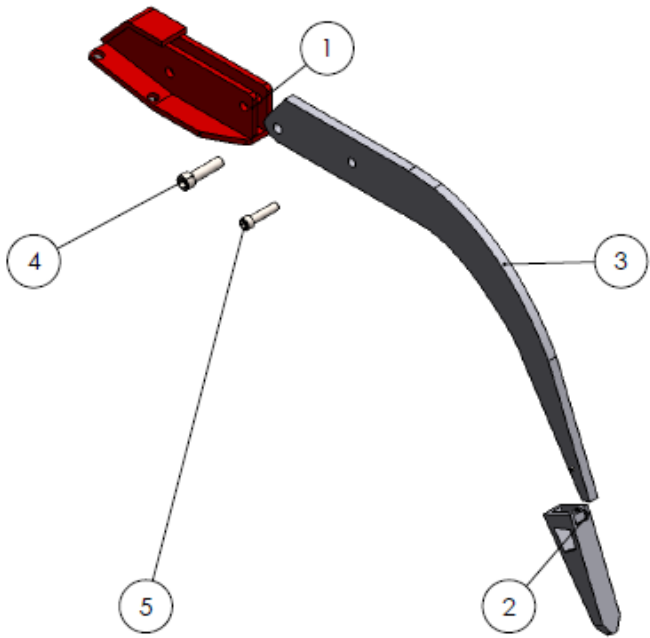


Ilustración 87. Formato para el envío de datos módulo UART.

ANEXO F: Planos Arado Tipo Cincel

1 Diseño original Arado tipo Cincel



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Soporte	1
2	Zapato	1
3	Cincel A	1
4	B18.3.1M - 20 x 2.5 x 80 Hex SHCS -- 52NHX	1
5	B18.3.1M - 16 x 2.0 x 70 Hex SHCS -- 44NHX	1



 <p>UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA</p> <p><small>GIDAM ES PROPIETARIO DE LOS DERECHOS DORRE DISEÑOS E INFORMACIÓN TÉCNICA DE ESTE PLANO. SU CONTENIDO NO PUEDE SER USADO, REPRODUCIDO O COMUNICADO A TERCERO PARCIALES, SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA</small></p> 	Nº	NOTA DE INGENIERÍA	DISEÑO OSCAR S MORALES ZAPATA	FECHA 16/10/2015	TÍTULO ARADO TIPO CINCEL		
			REVISÓ ING. JORGE A APONTE R	DESARROLLO AGRICOLA	NOMBRE ARADO TIPO CINCEL		
			APROBÓ ING. JORGE A APONTE R	MATERIAL	FORMATO A4 ISO	ESCALA 1:10 HOJA A	PLANO Nº E
			TOLERANCIA: MED. CRITICAS	UNIDADES MMGS	REVISIÓN 17/10/2015 9:00 a.m.		

Ilustración 88. Despiece ensamble Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.

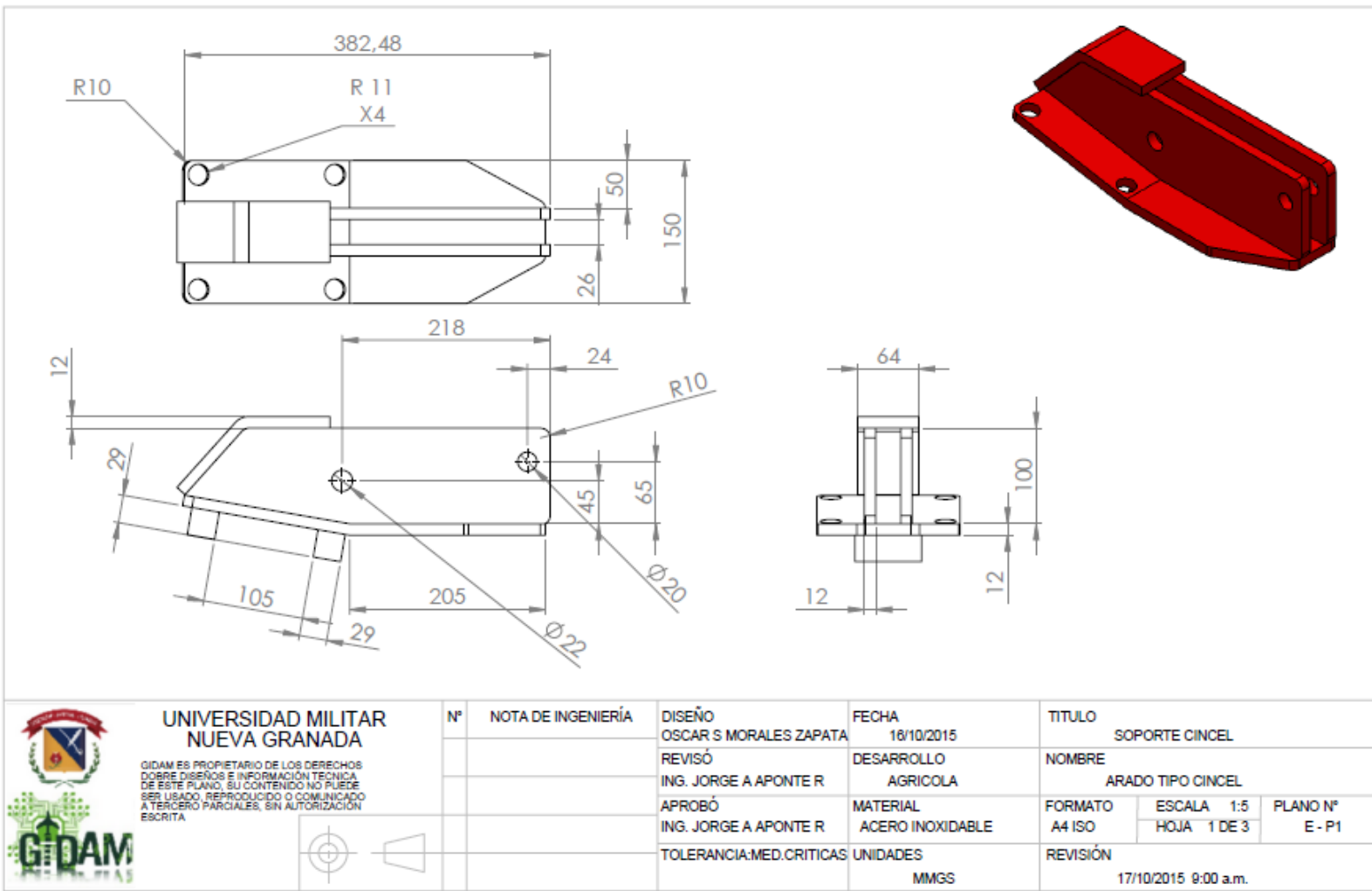


Ilustración 89. Soporte de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.

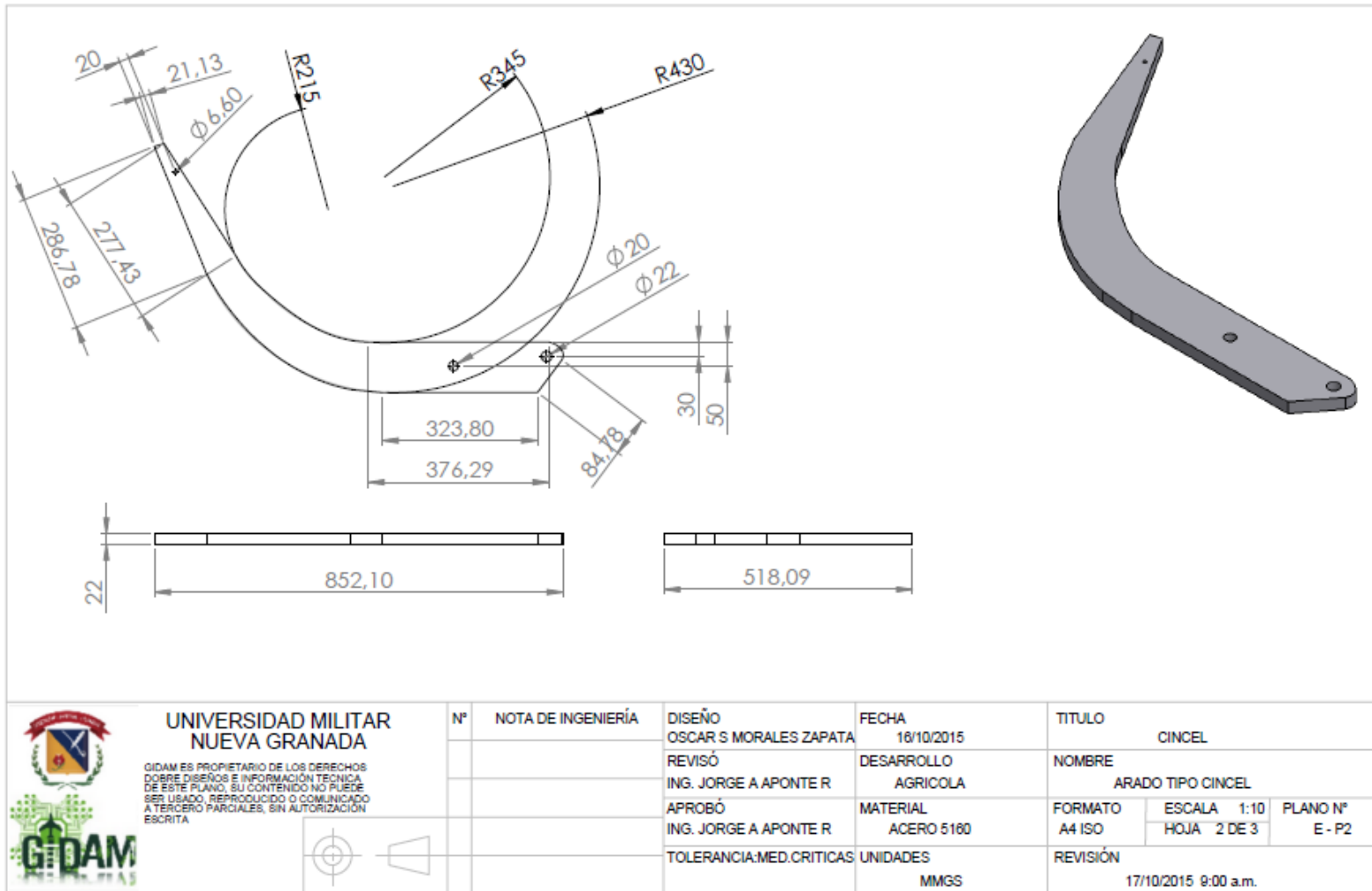


Ilustración 90. Cinzel de un Arado tipo Cinzel, realizado en SolidWorks®.

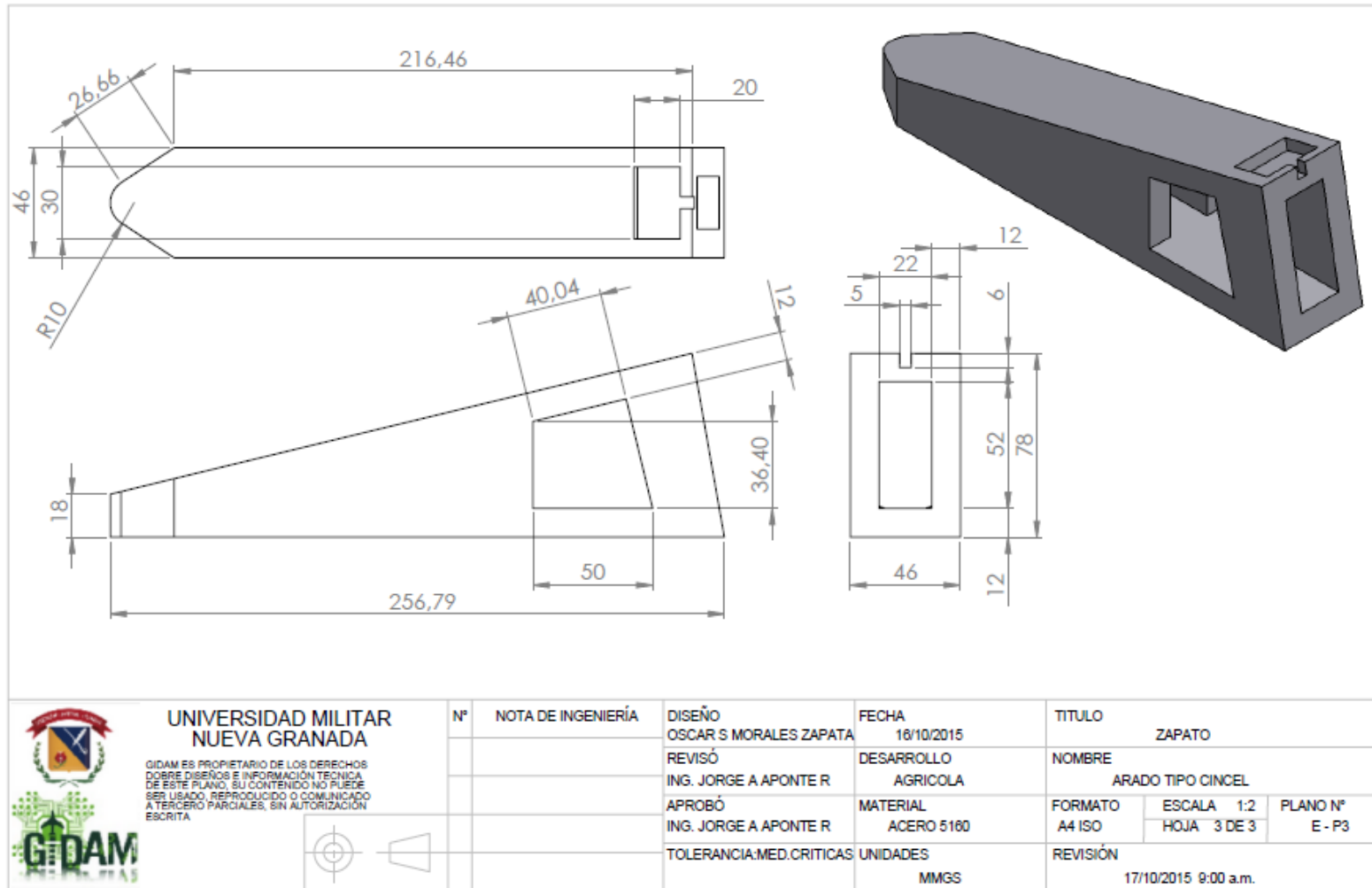
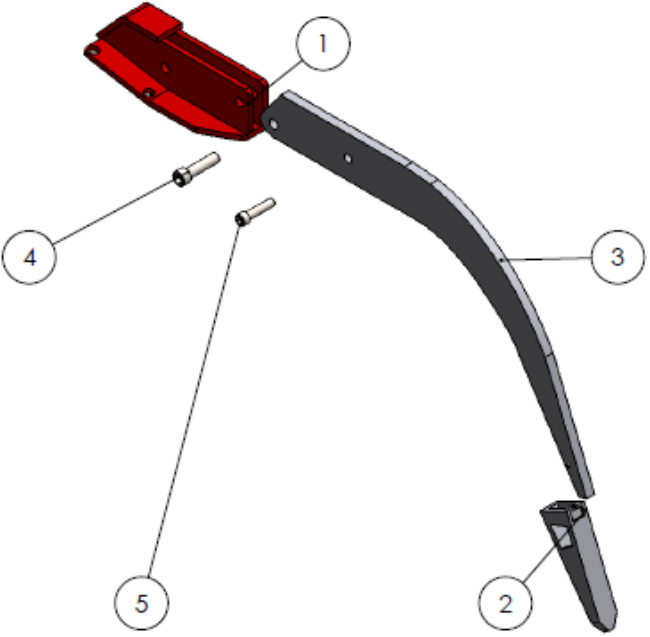


Ilustración 91. Zapato de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.

2 Rediseño Arado tipo Cincel



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Soporte	1
2	Zapato	1
3	Cincel A	1
4	B18.3.1M - 20 x 2.5 x 80 Hex SHCS -- 52NHX	1
5	B18.3.1M - 16 x 2.0 x 70 Hex SHCS -- 44NHX	1



 <p>UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA</p> <p><small>GIDAM ES PROPIETARIO DE LOS DERECHOS DORRE DISEÑOS E INFORMACIÓN TÉCNICA DE ESTE PLANO. SU CONTENIDO NO PUEDE SER USADO, REPRODUCIDO O COMUNICADO A TERCERO PARCIALES, SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA</small></p> 	Nº	NOTA DE INGENIERÍA	DISEÑO OSCAR S MORALES ZAPATA	FECHA 16/10/2015	TÍTULO ARADO TIPO CINCEL		
			REVISÓ ING. JORGE A APONTE R	DESARROLLO AGRICOLA	NOMBRE ARADO TIPO CINCEL		
			APROBÓ ING. JORGE A APONTE R	MATERIAL	FORMATO A4 ISO	ESCALA 1:10	PLANO Nº E
			TOLERANCIA: MED. CRITICAS	UNIDADES MMGS	REVISIÓN 17/10/2015 9:00 a.m.		

Ilustración 92. Despiece ensamble rediseño Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.

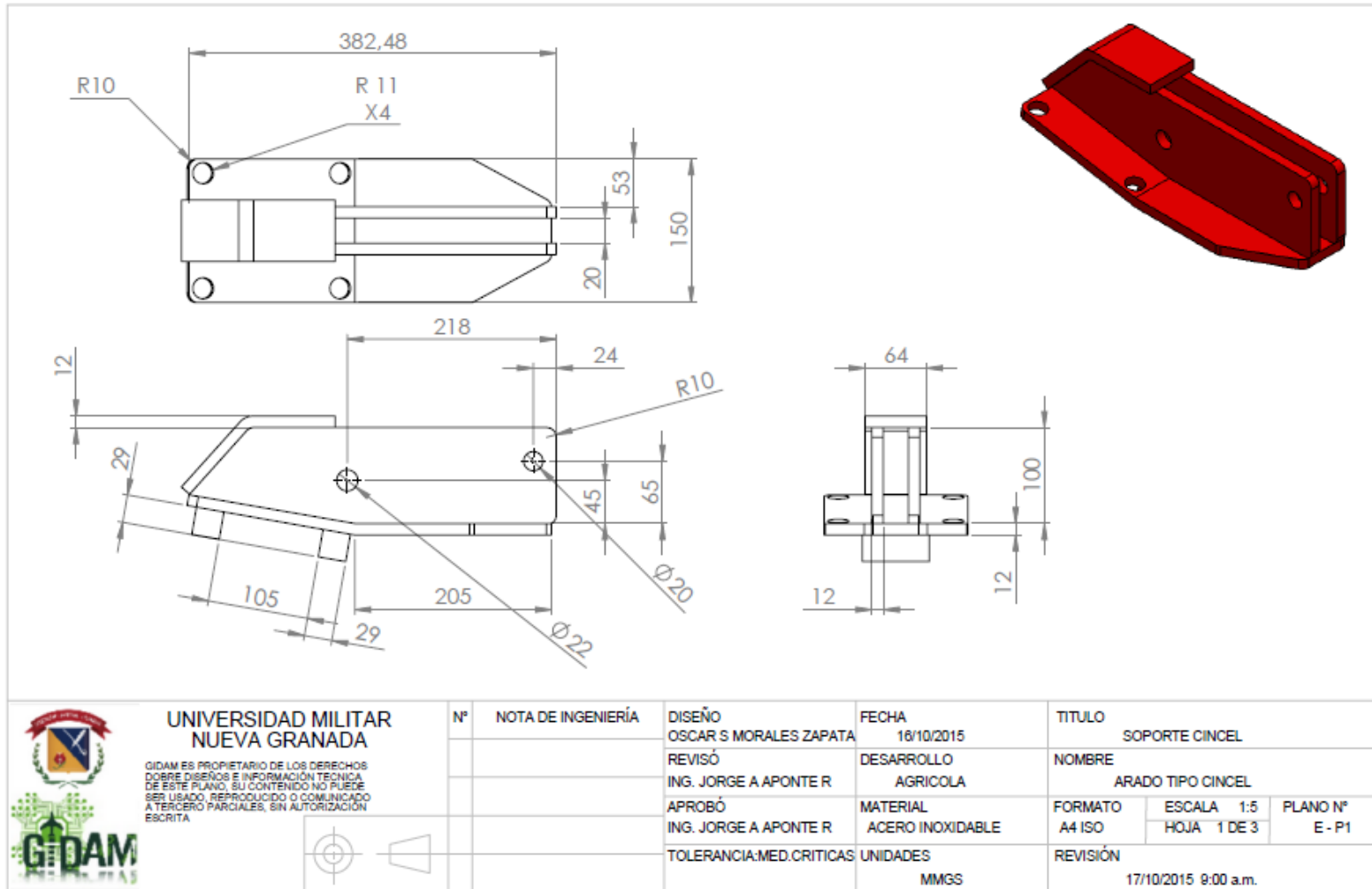


Ilustración 93. Soporte rediseño de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.

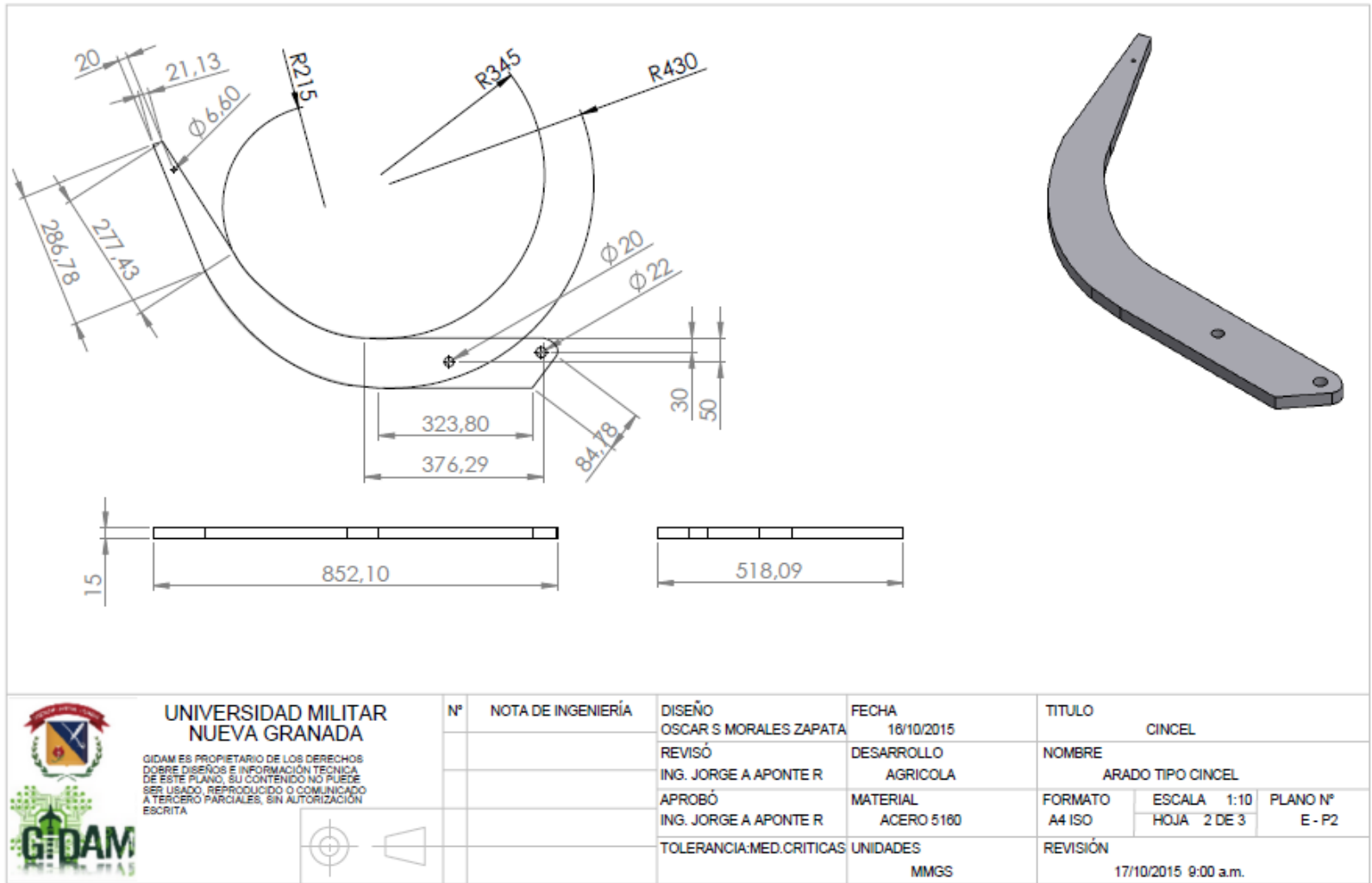


Ilustración 94. Cinzel rediseño de un Arado tipo Cinzel, realizado en SolidWorks®.

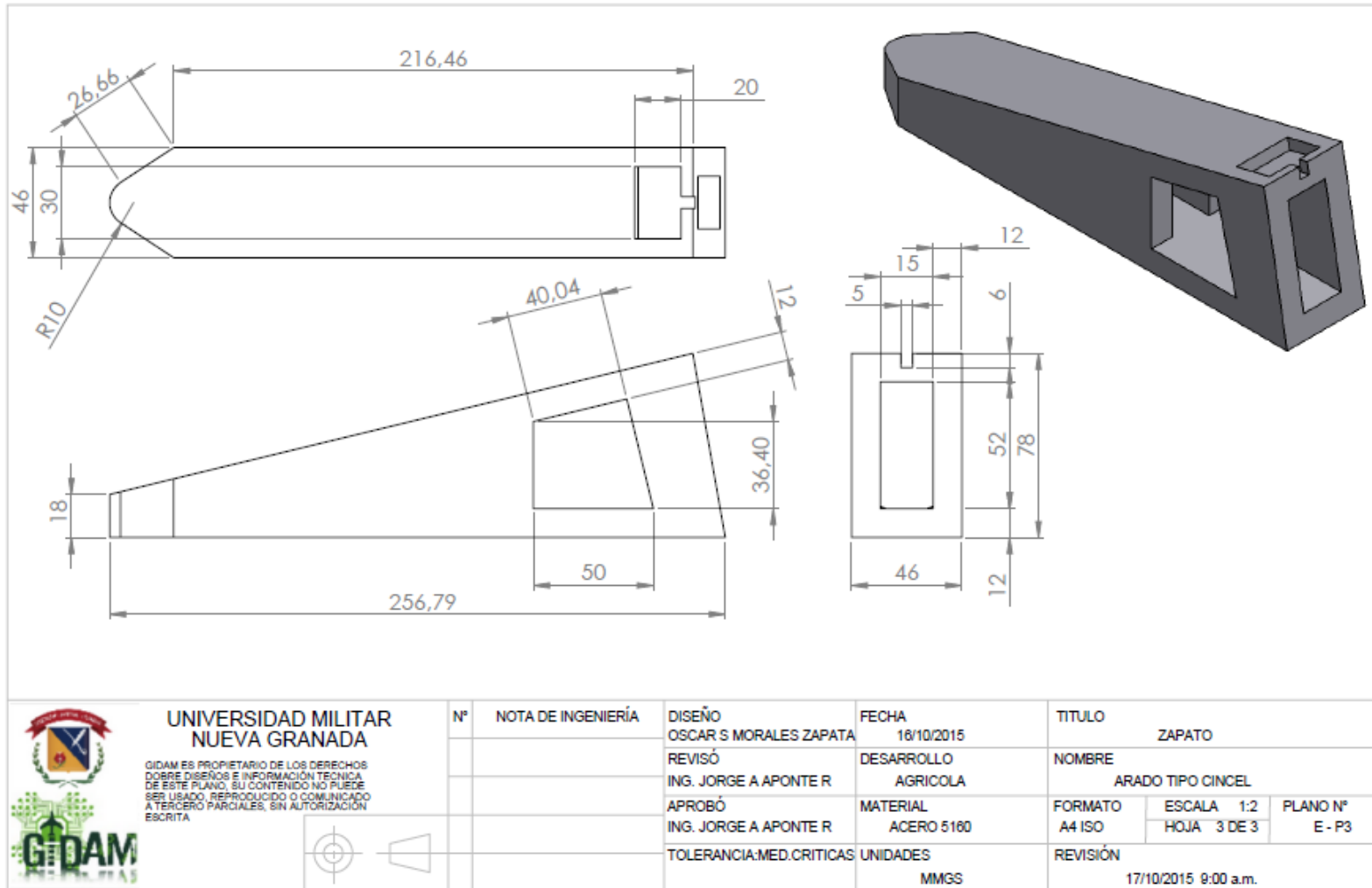


Ilustración 95. Zapato rediseño de un Arado tipo Cincel, realizado en SolidWorks®.

ANEXO G: Adquisición de datos en Labview®

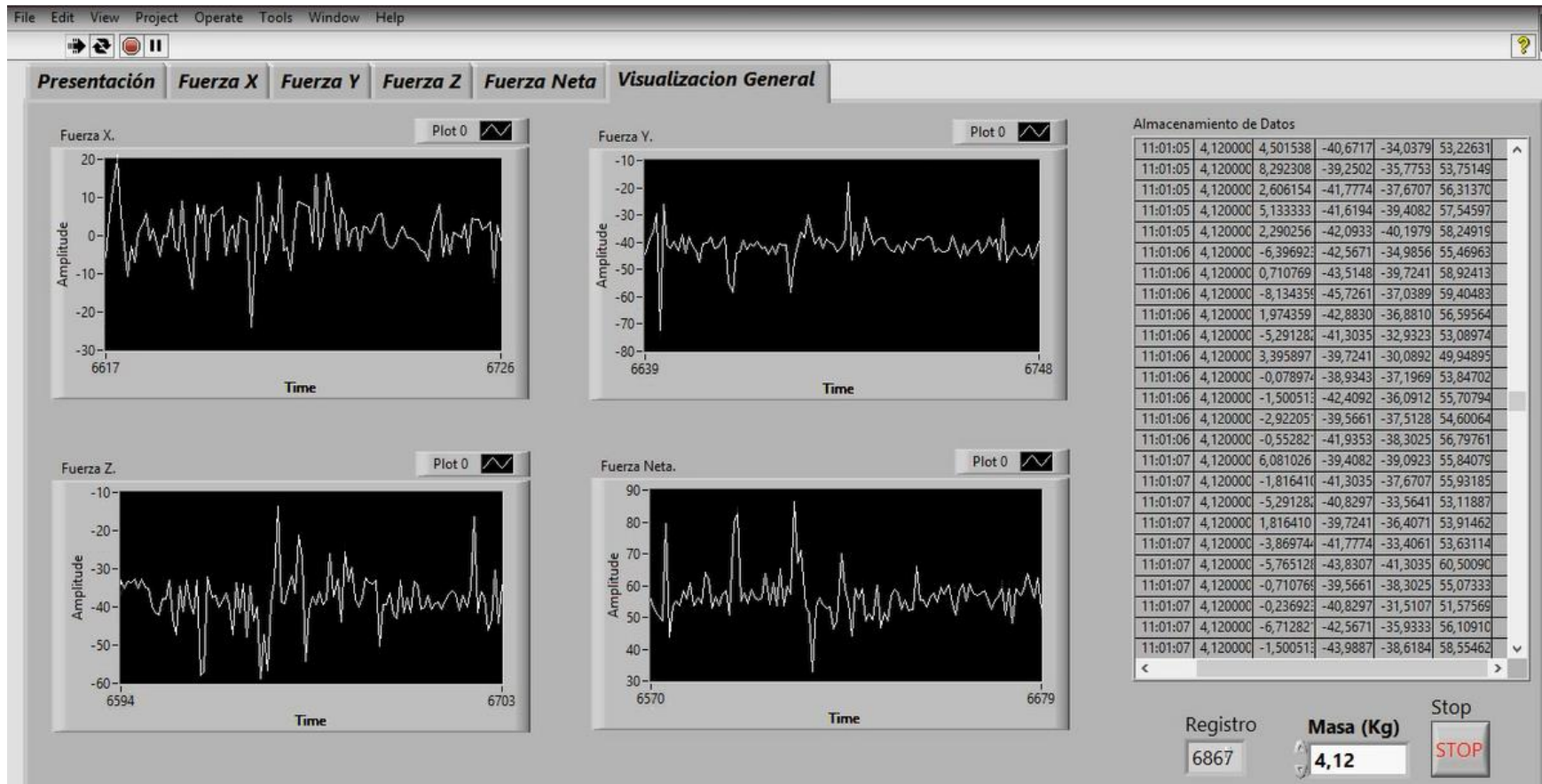


Ilustración 96. Registro de fuerzas X, Y, Z y Fuerza Neta, Almacenamiento de datos y de la masa.

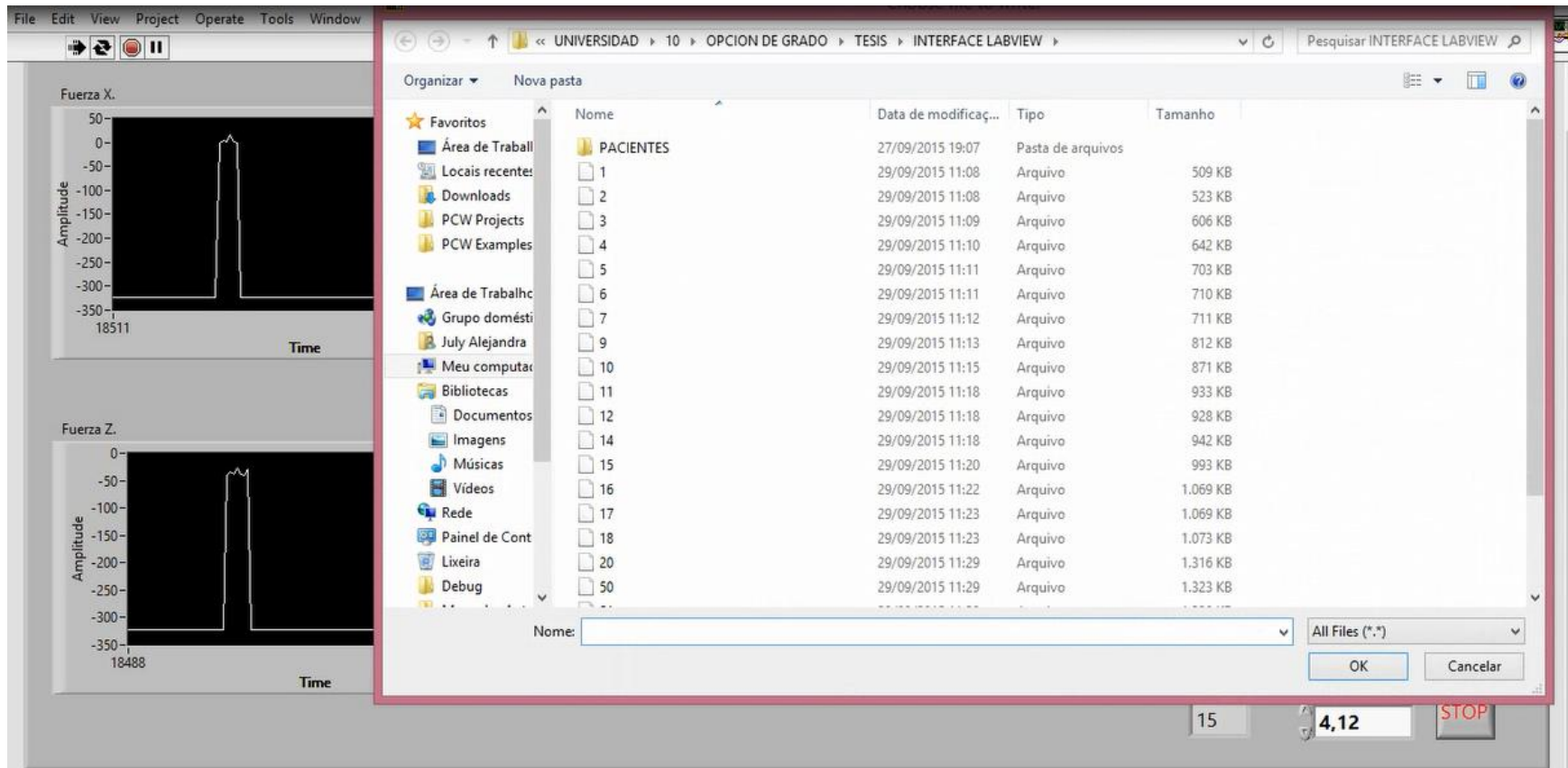


Ilustración 97. Almacenamiento de datos para luego ser exportados a Excel®.

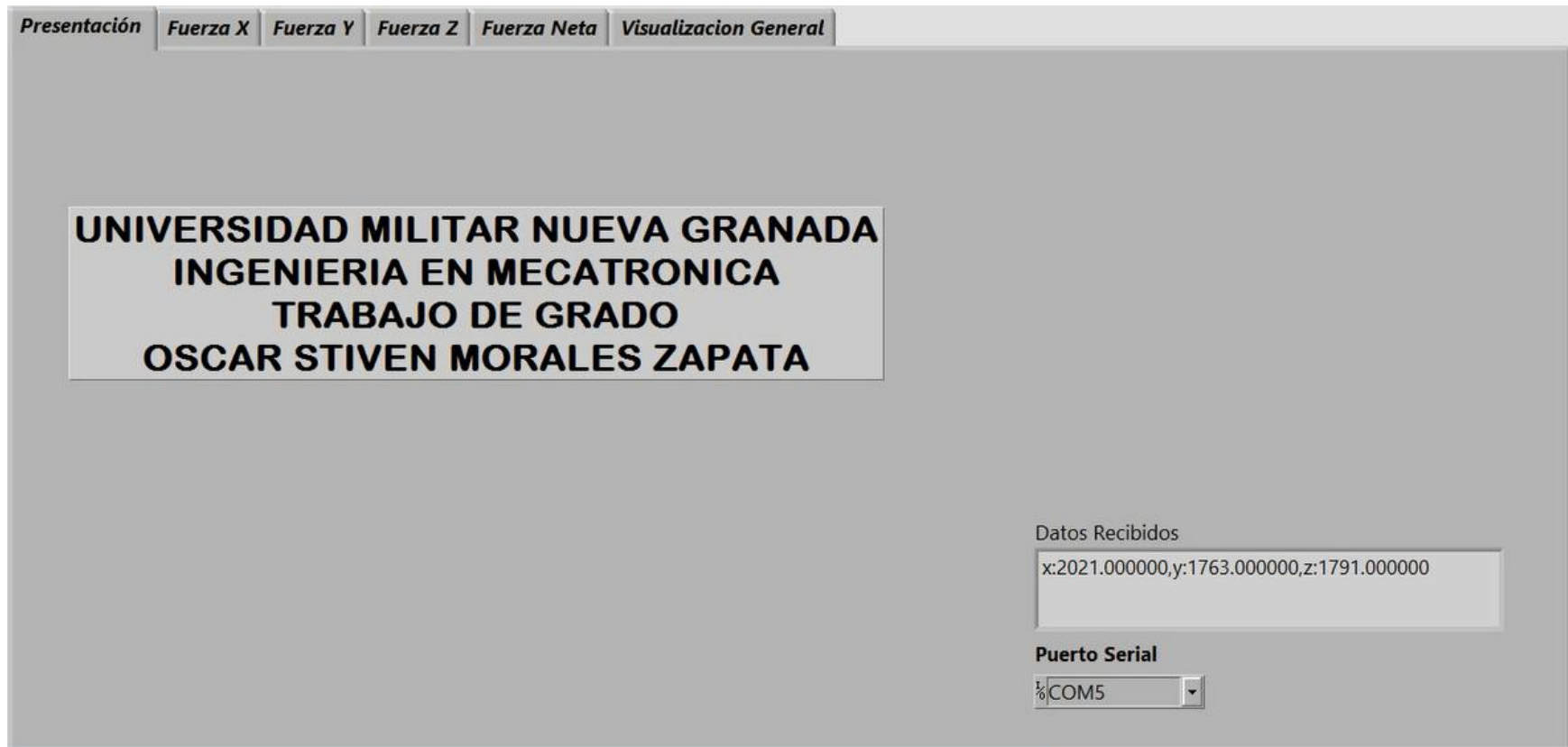


Ilustración 98. Detección puerto serial y recepción de datos en Labview®