

DISPOSITIVO MÓVIL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS

CÓDIGO DE PROYECTO: PG-16-1-01



MARÍA CAMILA VARGAS SARMIENTO

CÓDIGO: 1420931

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018458973

DIEGO STEVEN GALINDO ARAQUE

CÓDIGO: 121373

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018474517

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2017

DISPOSITIVO MÓVIL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS

MARÍA CAMILA VARGAS SARMIENTO

CÓDIGO: 1420931

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018458973

DIEGO STEVEN GALINDO ARAQUE

CÓDIGO: 121373

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018474517

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

DIRECTOR:

M.SC. Ing. Jennifer Paola Corredor Gómez

PhD. MSc. en Ingeniería – Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Ing. en Mecatrónica

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Mecatrónica y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'J. Corredor', is written over a horizontal line.

PhD. MSc. Ing. Jennifer Paola Corredor Gómez

Director del Proyecto

DEDICATORIA

A mi madre, quien ha dedicado todos sus esfuerzos por darme una buena educación y siempre ha sido mi inspiración para lograr cada uno de mis objetivos.

María Camila Vargas Sarmiento

DEDICATORIA

A mi familia por brindarme su apoyo y ser mi motivación constante...

Diego Galindo Araque

AGRADECIMIENTOS

No bastan las palabras para expresar lo afortunada que me siento de tener a personas tan maravillosas en mi vida y que me han enseñado tanto. En primer lugar, mi madre, María Teresa, quien ha permitido que este sueño se haga realidad, puesto que ha dedicado todos sus esfuerzos para darme la mejor educación posible. En segundo lugar, a la Doctora en Ingeniería Jennifer Corredor, quien aparte de ser la directora de este proyecto, ha demostrado ser un ejemplo a seguir para todos sus estudiantes. En tercer y último lugar, agradezco a todas las personas que hicieron parte de este proceso, a maestros, amigos y familiares.

María Camila Vargas

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, por sus bendiciones y ser la compañía en cada paso que doy.

A Mery, mi madre quien me ha dado su amor y apoyo incondicional sacando en mí una sonrisa hasta en las situaciones más difíciles.

A Jaime, mi padre por ser mi ejemplo de vida, perseverancia y constancia, apoyándome siempre sin importar lo que sea.

A Lizeth, mi compañera de vida quien día a día me regala los momentos más felices de mi vida, siendo uno de los pilares más fuertes en la formación del camino hacia el éxito.

A mis familiares y amigos quienes han sido parte del camino

A la ingeniera Jennifer Corredor, quien hizo posible el resultado de este proyecto.

Diego Galindo Araque

CONTENIDO

	Pág.
NOTA DE ACEPTACIÓN.....	3
DEDICATORIA.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
AGRADECIMIENTOS.....	7
LISTA DE TABLAS.....	12
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE GRÁFICAS.....	15
LISTA DE ANEXOS.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
RESUMEN.....	18
ABSTRACT.....	18
1. GENERALIDADES.....	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19

1.1.1	Antecedentes del problema	19
1.1.2	Descripción del problema	19
1.1.3	Formulación del problema	19
1.2	JUSTIFICACIÓN	19
1.3	OBJETIVOS	20
1.3.1	Objetivo general	20
1.3.2	Objetivos específicos.....	20
1.3.3	Delimitación del proyecto	20
1.3.3.1	Alcances.....	20
1.3.3.2	Limitaciones.....	20
1.4	MARCO REFERENCIAL.....	21
1.4.1	Estado del arte.....	21
1.4.2	Marco normativo.....	25
1.5	MARCO METODOLÓGICO	25
2.	DISEÑO ELECTRÓNICO	27
2.1	CARACTERIZACIÓN DE SENSORES.....	27
2.2	SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA.....	27
2.2.1	Selección	27
2.2.2	Metodología para la caracterización	28
2.3	SENSOR DE TEMPERATURA.....	32
2.3.1	Selección	32
2.3.1	Metodología para la caracterización	33
2.4	SENSOR DE PH	35
2.4.1	Selección	35
2.4.1	Metodología para la caracterización	36
2.4.2	Resultados	38
2.5	SENSOR DE CONDUCTIVIDAD	39
2.5.1	Metodología para la caracterización	40
2.5.2	Resultados	41
2.6	SENSOR DE COMPACTACIÓN	42
2.6.1	Selección	43
2.6.2	Metodología para la caracterización	43

2.6.3	<i>Resultados</i>	45
2.7	ACTUADORES	45
2.7.1	<i>Selección</i>	45
2.8	SISTEMA DE CONTROL	47
2.8.1	<i>Arduino UNO</i>	47
2.9	SISTEMA DE COMUNICACIÓN	48
2.9.1	<i>Modulo Bluetooth</i>	48
2.9.2	<i>Módulo WIFI</i>	49
2.10	PLANO DE CONEXIÓN	51
2.11	BATERIA	52
2.12	ASPECTOS DESTACADOS EN ESTE CAPÍTULO	53
3.	DESARROLLO APLICACIÓN ANDROID	54
3.1	DISEÑO	54
3.2	CONFIGURACIÓN DE CONEXIONES INALÁMBRICAS	58
3.2.1	<i>Movimiento del carro y sistema de instrumentación por Bluetooth</i>	58
3.2.2	<i>Recepción de datos por WIFI</i>	59
3.2.2.1	<i>Configuración módulo ESP8266</i>	59
3.2.2.2	<i>Configuración de página web</i>	59
3.3	ASPECTOS DESTACADOS EN ESTE CAPÍTULO	60
4.	DISEÑO MECÁNICO	61
4.1	REQUERIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA	61
4.2	SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN	61
4.2.1	<i>Componentes de la estructura</i>	62
4.2.2	<i>Sistema de movimiento</i>	65
4.2.2.1	<i>Instante Uno</i>	66
4.2.2.2	<i>Instante Dos</i>	74
4.3	SELECCIÓN DE MATERIALES	82
4.3.1	<i>Método de los factores ponderados</i>	82
4.3.1.1	<i>Factores relevantes</i>	83

4.4	ASPECTOS DESTACADOS EN ESTE CAPÍTULO	85
5.	RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	86
5.1	PRUEBAS	86
5.1.1	Control de movimiento	86
5.1.2	Sistema de instrumentación	87
5.1.3	Aplicación CAS	88
5.2	RESULTADOS	89
6.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	91
7.	CONCLUSIONES.....	92
8.	BIBLIOGRAFÍA	93
	ANEXO A. HOJAS DE DATOS TECNICOS.....	99
	ANEXO B. PLANOS MECÁNICOS.....	100
	ANEXO C. DIAGRAMAS DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO.....	114
	ANEXO D. PLANOS DE CONEXIÓN ELECTRONICOS	121

LISTA DE TABLAS

Pág.

<i>Tabla 1. Sensores de humedad relativa</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2. Peso de muestra a través del tiempo de secado.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Sensores de temperatura.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4. Datos de temperatura obtenidos de las muestras.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5. Sensores de pH.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6. Datos medidos por los sensores</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7. Sensores de salinidad.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 8. Rangos de salinidad.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 9. Datos medidos por el sensor YL-69.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10. Sensores de compactación.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11. Nivel de compactación.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 12. Corriente de los motores.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 13. Motorreductores</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 14. Alternativas Cambio de Giro Motores.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 15. Características Bluetooth HC-05</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 16. Características módulo WIFI</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 17. Corriente de los dispositivos electrónicos.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 18. Lista de partes Estructura</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 19. Fuerzas en placa para sensores en instante 1</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 20. Variables del análisis de rótula y eje roscado en instante 1.</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 21. Distancias de fuerzas ejercidas en eje principal.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 22. Fuerzas en eje principal en instante 1.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 23. Fuerzas en placa para sensores en instante 2</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 24. Variables del análisis de rótula y eje roscado en instante 2.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 25. Factor de seguridad para piñones y engranajes.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 26. Fuerzas en el eje principal en instante 2.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 27. Propiedades mecánicas del eje principal.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 28. Factor de seguridad en el eje principal</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 29. Peso de los factores</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 30. Propiedades de las alternativas de materiales</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 31. Evaluación de alternativas</i>	<i>84</i>

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Sistema de detección de EC, OM y pH sobre-la-marcha (on-the-go).....	22
Figura 2. Chip con un ISFET fabricado en el IMB y sonda para medir.	22
Figura 3. a) Celda de medida b) Celda insertada en un sustrato tipo hidropónico	23
Figura 4. Sistema de fusión, sensor triple.....	24
Figura 5. Metodología para caracterización de sensores.....	27
Figura 6. Sensor SHT10	29
Figura 7. Diagrama de flujo de caracterización de humedad y temperatura usando los sensores YL-69 y SHT10.....	30
Figura 8. Conexión del sensor SHT10.....	31
Figura 9. Medición de temperatura con sensor SHT10	33
Figura 10. Tierra con pH neutro	36
Figura 11. Sensor SEN 0161	37
Figura 12. Sensor pH 0161 y pH-metro.....	37
Figura 13. Buffers de pH	38
Figura 14. a) Modulo LM39369. b) Sensor YL-69 c) Cable hembra-hembra.....	41
Figura 15. Sensor de fuerza.....	43
Figura 16. Puente de Wheatstone	44
Figura 17. estructura sensor	44
Figura 18. Motorreductor	46
Figura 19. Placa Arduino.....	48
Figura 20. Módulo HC-05.....	48
Figura 21. Pines HC-05.....	49
Figura 22. Módulo WIFI	50
Figura 23. Puertos del módulo WI-FI	50
Figura 24. Plano de conexiones	51
Figura 25. Contenido aplicación CAS	54
Figura 26. Aplicación CAS.....	55
Figura 27. Ajustes conexión sistema de instrumentación con aplicación CAS.	56
Figura 28. Resultados obtenidos del terreno.	56
Figura 29. Selección de fruto en aplicación.	57
Figura 30. Prácticas para mejorar características del suelo en la aplicación CAS.	58
Figura 31. Control movimientos del carro	59
Figura 32. Configuración del módulo esp8266 y thingspeak	60
Figura 33. Sistema de instrumentación.....	61
Figura 34. Partes del sistema de instrumentación.....	62
Figura 35. Acoples	63
Figura 36. Agarre.....	63
Figura 37. Columna	63
Figura 38. Ejes.....	64
Figura 39. Leva	64

<i>Figura 40. Placa para sensores.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 41.Placa principal</i>	<i>65</i>
<i>Figura 42. Buje</i>	<i>65</i>
<i>Figura 43. Sistema de movimiento del sistema de instrumentación.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 44. Diagrama de fuerzas sobre la placa para sensores en instante 1</i>	<i>66</i>
<i>Figura 45. Fuerzas en rotulas y eje roscado en instante 1.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 46. Fuerzas ejercidas en el eje principal en instante 1.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 47. Fuerzas ejercidas en el plano xz del eje principal en instante 1.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 48. Fuerzas ejercidas en el plano yz del eje principal en instante 1.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 49. Diagrama de fuerzas sobre la placa para sensores en instante 2</i>	<i>74</i>
<i>Figura 50. Fuerzas en rótulas y eje roscado en instante 2.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 51. Tren de engranajes.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 52. Prueba control de movimiento.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 53. Prueba del sistema de instrumentación.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 54. Resultados de sensores en aplicación CAS.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 55. ConFiguración y resultados en Tabla de frutos recomendados.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 56. Plano de conexión motores.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 57. Plano de conexión de sensores.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 58. Plano de conexión modulo WI-FI.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 59. Plano de conexión modulo Bluetooth.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 60- Diseño de la tarjeta integrada</i>	<i>123</i>

LISTA DE GRÁFICAS

Pag.

Gráfica 1. Caracterización de la humedad relativa del suelo con el sensor SHT10	31
Gráfica 2. Caracterización temperatura sensor SHT10	34
Gráfica 3. Tiempo de estabilización sensor SHT10	35
Gráfica 4. Comparación de los datos obtenidos	39
Gráfica 5. Sensor sen0161 vs pH-Metro	39
Gráfica 6. Caracterización de la salinidad con el sensor YL-69	42
Gráfica 7. Diagrama de fuerza cortante en plano xz del eje principal en instante 1	71
Gráfica 8. Diagrama de momento flector en plano xz del eje principal en instante 1	72
Gráfica 9. Diagrama de fuerza cortante en plano yz del eje principal en instante 1	72
Gráfica 10. Diagrama de momento flector en plano yz del eje principal en instante 1	73
Gráfica 11. Diagrama magnitud cortante del eje principal en instante 1	73
Gráfica 12. Magnitud del momento del eje principal en instante 1	73
Gráfica 13. Diagrama de magnitud del momento flector del eje principal en instante 2.	79
Gráfica 14. Diagrama de fuerza de placa para sensores en instante 1	114
Gráfica 15. Diagrama de momento flector de placa para sensores en instante 1	114
Gráfica 16. Diagrama de desplazamiento de placa para sensores en instante 1	114
Gráfica 17. Diagrama de deflexión de placa para sensores en instante 1	115
Gráfica 18. Diagrama de fuerza cortante en plano xz del eje principal en instante 1	115
Gráfica 19. Diagrama de momento flector en plano xz del eje principal en instante 1	115
Gráfica 20. Diagrama de fuerza cortante en plano yz del eje principal en instante 1	116
Gráfica 21. Diagrama de momento flector en plano yz del eje principal en instante 1	116
Gráfica 22. Diagrama magnitud cortante del eje principal en instante 1	116
Gráfica 23. Magnitud del momento del eje principal en instante 1	117
Gráfica 24. Diagrama de fuerza cortante en placa para sensores en instante 2	117
Gráfica 25. Diagrama de momento flector en placa para sensores en instante 2	117
Gráfica 26. Diagrama de momento desplazamiento en placa para sensores en instante 2	118
Gráfica 27. Diagrama de deflexión en placa para sensores en instante 2	118
Gráfica 28. Diagrama de fuerza cortante en plano xz del eje principal en instante 2	118
Gráfica 29. Diagrama de momento flector en plano xz del eje principal en instante 2	119
Gráfica 30. Diagrama de fuerza cortante en plano xy del eje principal en instante 2	119
Gráfica 31. Diagrama de fuerza cortante en plano yz del eje principal en instante 2	119
Gráfica 32. Diagrama de magnitud cortante del eje principal en instante 2	120
Gráfica 33. Diagrama de magnitud del momento flector del eje principal en instante 2	120

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
<i>ANEXO A. HOJAS TÉCNICAS.....</i>	<i>99</i>
<i>ANEXO B. PLANOS MECÁNICOS.....</i>	<i>100</i>
<i>ANEXO C. DIAGRAMAS DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO.....</i>	<i>108</i>
<i>ANEXO D. PLANOS DE CONEXIÓN ELÉCTRICOS.....</i>	<i>115</i>

INTRODUCCIÓN

Debido a que día a día aumenta la demanda de productos agrícolas es importante producir alimentos de la manera más respetuosa con el medio ambiente haciendo uso responsable del suelo al cultivar. Colombia cuenta con abundantes recursos naturales, los cuales reflejan su potencial agrícola actual y futuro, puesto que posee 16,6 (1) millones de hectáreas cultivables no utilizadas hasta el momento. A causa de esto, el propósito de este proyecto es diseñar y construir un dispositivo móvil para determinar las características del suelo, y con eso informar al agricultor por medio de una aplicación Android sobre el estado del terreno y dependiendo de esto, ofrecer una serie de sugerencias sobre procedimientos a realizar en el terreno previo al cultivo.

La importancia de utilizar este tipo de tecnología radica en que se debe crear una conciencia global sobre el uso responsable del suelo, evitando su degradación a futuro y manteniendo la eficiencia de producción.

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño de un dispositivo móvil para la caracterización de suelos agrícolas, así como el desarrollo de una aplicación Android para obtener los resultados en tiempo real del estado del suelo y con ello determinar qué fruto es el adecuado para sembrar y qué prácticas llevar a cabo para mejorar la calidad del suelo. El proyecto se divide en tres disciplinas: electrónica, software y mecánica. En la primera, se realiza la selección de los sensores que se utilizarán para realizar la caracterización del suelo. En la segunda, se explica el desarrollo de la aplicación Android y su integración con el dispositivo móvil y sistema de instrumentación. En la tercera, se explica el diseño mecánico del sistema de instrumentación y se realizan los cálculos necesarios para comprobar el correcto funcionamiento del mismo. Para finalizar, se realizan pruebas con el prototipo y con el fin de comprobar su funcionamiento.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Android, caracterización, sensores.

ABSTRACT

In the present project, a mobile device design is developed for the characterization of the agricultural soils, as well as the development of an Android Application in order to obtain the results in real time of the status of the soil and with this information to determine what fruit is adequate to plant and what practices should be done to improve the quality of the soil. The project is divided into three disciplines: electronics, software and mechanics. In the first one, the selection of the sensors to be used in the project is performed in order to do the soil characterization. In the second one, the development of the Android application is explained and its integration with the mobile device and the instrumentation system. In the third one, the mechanical design of the instrumentation system is explained and the necessary calculations are made to verify its correct function. Finally, tests are carried out with the prototype in order to verify its operation.

Keywords: Android, characterization, Precision farming, sensors.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

Uno de los retos de la agricultura es la creciente demanda de productos por parte de la población. Teniendo en cuenta que para el 2050 según la FAO, la demanda de alimentos aumentará un 80% (2) y Colombia es uno de los países con mayor potencial de expansión de área de la agricultura (3), contando con 16.6 millones de hectáreas para uso silvo-agrícola y agrícola (4), es de gran importancia incentivar los cultivos orgánicos y el buen uso del terreno. Por lo tanto, se ha hecho imperativo el uso de nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia de producción y reducción del impacto ambiental. A causa de esto, la Agricultura de Precisión (AP) ha utilizado cinco tecnologías para lograr dichos objetivos, las cuales son: Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), percepción remota, análisis de datos georreferenciados, Sistemas de Información GeoGráfica (SIG) y tecnologías de análisis de dosis variable (sensores).

El uso de sensores “en tiempo real” en la AP ha sido tema de investigación durante los últimos años, centrándose en la precisión de los datos medidos, la relación costo-utilidad y el encontrar el conjunto de sensores con los cuales se puedan hallar las propiedades más significativas del suelo.

1.1.2 Descripción del problema

Debido a que este proyecto está centrado en el uso de sensores para la caracterización de suelos, el principal obstáculo es escoger el conjunto adecuado de sensores para medir las propiedades que permitan realizar esto. También existen otros factores importantes que influyen en el proyecto, los cuales son: la relación costo-utilidad de los sensores, el tamaño de éstos y su peso, ya que, dependiendo de esto, se diseñará el prototipo móvil en el que están ubicados.

Un tema por analizar es la interpretación de los datos obtenidos de los sensores, su procesamiento y la manera de entregar este resultado al usuario, puesto que de esto depende la utilidad del proyecto, ya que con este se busca entregar al agricultor el estado del terreno y los procedimientos que debe seguir para hacerlo apto para el cultivo orgánico.

Otro de los factores que hay que tener en cuenta es el diseño del dispositivo móvil, el cual debe ser pequeño, inalámbrico, con batería de larga duración y estable.

1.1.3 Formulación del problema

¿Qué conjunto de sensores es el ideal para caracterizar el suelo de manera que se determinen los procesos que se deben llevar a cabo previo al cultivo y cómo se le deben presentar los resultados obtenidos al usuario?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La agricultura representa un papel importante en el desarrollo de un país, impulsando su economía por medio de empleo, exportaciones y su contribución al PIB, que en Colombia representa actualmente menos un 6%, descendiendo 11.3% comparado con 1990 (5). Además de esto, Colombia

es uno de los países con mayor potencial de expandir el área de la agricultura sin afectar el área de bosques naturales, contando con el 0.64% del total de hectáreas cultivables en el mundo que aún no han sido utilizadas (2). Debido a que se cuentan con estos recursos es fundamental hacer buen uso del suelo, ya que por su manejo inadecuado ha provocado que el 38% de 1.500 millones de hectáreas cultivables en el mundo mostrara síntomas de degradación (6), disminuyendo su capacidad de prestar bienes y servicios. A causa de esto, el proyecto propuesto tiene como meta ser una herramienta que ayude al agricultor con el manejo del suelo, dándole a conocer el estado de su terreno y dependiendo de esto, brindarle consejos acerca de cuidado de este, con el fin de que sea más eficiente y ambientalmente responsable.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un dispositivo móvil el cual realice la adquisición adecuada de las características necesarias del suelo para ayudar al agricultor a tomar una decisión apropiada sobre qué procesos se deben realizar en el terreno previo al cultivo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de caracterización de suelos en cultivos orgánicos.
- Diseñar un sistema de instrumentación con el fin de caracterizar las propiedades del suelo.
- Implementar una interfaz de usuario intuitiva en la cual se muestre el estado del terreno y los procesos que se deben realizar para hacerlo apto para el cultivo.
- Implementar un prototipo móvil e integrarlo con el sistema de instrumentación.
- Evaluar el desempeño del dispositivo construido.

1.3.3 Delimitación del proyecto

1.3.3.1 Alcances

-) El usuario manejará el dispositivo móvil y podrá controlar la toma de muestras mediante una aplicación android.
-) Según los resultados obtenidos de la caracterización del suelo se le darán una serie de recomendaciones al agricultor sobre qué cultivar Limitaciones,

1.3.3.2 Limitaciones

-) La caracterización del suelo se realizará en un terreno que no tenga ningún tipo de cultivo.
-) La caracterización del suelo se realizará únicamente para cultivos en el altiplano cundiboyacense.
-) La calibración de los sensores no se certificará.

1.4 MARCO REFERENCIAL

1.4.1 Estado del arte

La agricultura se ha visto enfrentada a la creciente demanda por parte de la población, por lo tanto, se han tenido que mejorar las prácticas para generar un mayor rendimiento de los cultivos haciendo uso de las nuevas tecnologías. A partir de los años 90 se comenzaron a generar diferentes dispositivos para reducir el impacto ambiental y disminuir costos en la producción de alimentos, ya que se lograba una mayor eficiencia en cuanto a la aplicación de insumos. A esto se le denominó Agricultura de Precisión (AP), que abarca sistemas de posicionamiento global (GPS), información geoGráfica (GIS), soporte a la decisión (SSD) y sensores de cosecha (7).

Los sensores comúnmente utilizados son los on-the-go tales como: eléctricos, electromagnéticos, ópticos, radiométricos, mecánicos, acústicos, neumáticos y electroquímicos (8), los cuales pueden ser incorporados en dispositivos móviles para la caracterización de suelos (6). Los sensores mecánicos, ópticos, eléctricos y electromagnéticos pueden usarse para el mapeado de las características del terreno (6), siendo los dos últimos los más utilizados en la AP, ya que brindan mediciones como resistividad/conductividad eléctrica, brindando información importante acerca de las diferencias y similitudes que hay en el terreno (8). Por otra parte, los sensores mecánicos se limitan a determinar la densidad aparente del suelo y los electroquímicos miden la concentración de iones en éste (6). Los sensores de conductividad eléctrica (EC) pueden ser usados para determinar los cambios de textura en el suelo y delinear las áreas que tienen mayores niveles de salinidad (9).

Otro tipo de sensores de proximidad al suelo (PSS), los cuales son capaces de medir propiedades físicas, químicas y biológicas al colocar el sensor a una distancia menor de 2m del suelo (10). Las diferentes técnicas usadas con el PSS son:

- Reflectómetro de dominio del tiempo (TDR).
- Reflectómetro de Dominio de Frecuencia (FDR).
- Sondas de capacitancia.
- Radar de penetración terrestre (GPR): Se usa para medir valores de permitividad y conductividad del suelo junto con la inversión de la forma de onda completa (FWI) se pueden valores fiables de conductividad en suelos de textura fina (11).
- Resonancia Magnética Nuclear (RMN)
- Interferencia electromagnética (EMI): Tal como los sistemas GPR, se usan en forma de antenas llevando a cabo eficazmente la caracterización del suelo de forma no destructiva (12).

En el campo de la geofísica agrícola se utilizan diferentes técnicas para caracterizar el suelo, tales como: métodos de resistividad más directa, eléctricos, electroquímicos (Electrodos selectivos de iones (ISE)) y mecánicas (13).

A pesar de que existen varios tipos de sensores y técnicas para determinar las propiedades del suelo, aún se encuentran en desarrollo, así como la búsqueda por el conjunto apropiado de estos para la caracterización de suelos (14) (6), recomendándose el uso de técnicas específicas (sensores mecánicos y electroquímicos) e inespecíficas (sensores ópticos, eléctricos y electromagnéticos) para que la información obtenida sea fácilmente interpretable (6). Las características más fiables a

determinar son la textura, salinidad y compactación del terreno (6), sin embargo hay muchas propiedades claves por definir, las cuales son: densidad aparente, agua disponible, carbono en el suelo, fracciones de carbono (15) materia orgánica, arcilla, potasio, intercambio catiónico efectivo, calcio, magnesio (16), pH y posición en el paisaje (17).

La empresa Veris Technologies comercializa el espectrómetro Veris Vis-NIR (ver ilustración 2), el cual, mediante un conjunto de sensores que mide simultáneamente el pH, material orgánico y posición en el paisaje (17) (9) mostrando una fuerte correlación entre los valores medidos y los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio (17). A pesar de la robustez de este sistema, aún se recomienda seguir perfeccionando los sensores y la combinación entre estos (15), puesto que éstos están expuestos a condiciones que pueden hacer variar su precisión de respuesta, tales como polvo, humedad, vibración, entre otras (14).

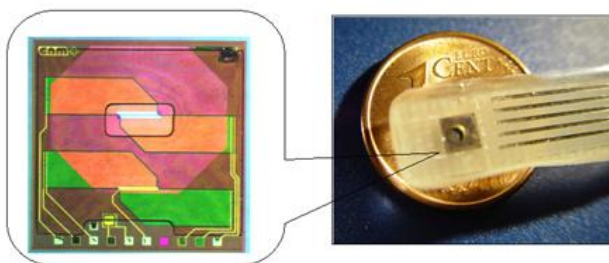
Figura 1. Sistema de detección de EC, OM y pH sobre-la-marcha (on-the-go)



Recuperado de: http://veristech.com/images/VIS-NIR_shank.pdf.

En el campo de los sensores y transductores los sensores de estado sólido que son construidos con tecnología microelectrónica han mostrado un gran desarrollo ya que estos sensores tienen ventajas como: respuesta rápida, tamaño pequeño, económicos, baja impedancia de salida y fácil integración con los circuitos electrónicos (18). Uno de estos sensores químicos son los transistores de efecto de campo sensibles a iones, ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor) (19). Mediante estos sensores químicos es posible determinar la concentración de iones específicos en soluciones acuosas (20).

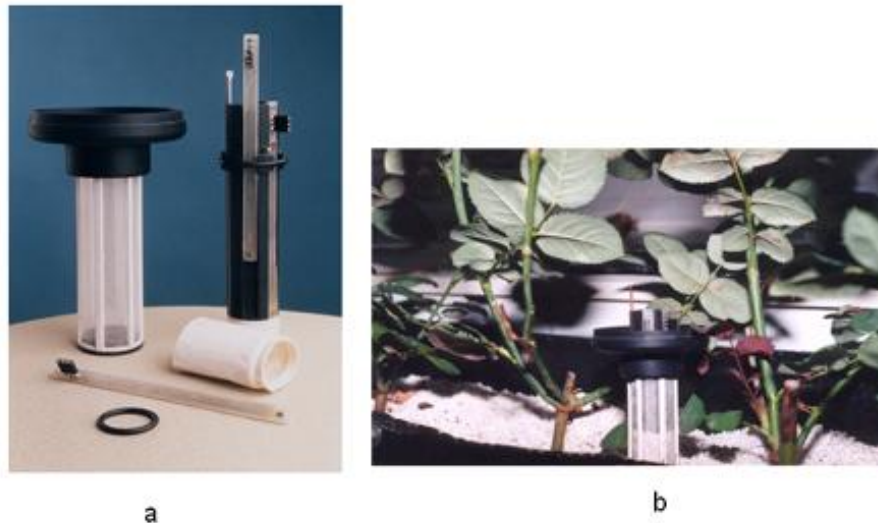
Figura 2. Chip con un ISFET fabricado en el IMB y sonda para medir.



Recuperado de: http://www.acenologia.com/ciencia73_02.htm

Los sensores ISFET son muy sensibles al PH, pero también pueden medir calcio, potasio y nitrato; para esto, es necesario colocar una membrana modificada (polímero fotosensible) sobre la membrana sensible, la cual tiene los elementos de reconocimiento específicos del ión a determinar (19). La vida útil de los ISFET de PH es de un año y los ISFET con membrana es de 5 meses. Para poder realizar medidas directamente desde el suelo es necesario el uso de una celda de medida. El uso de estos sensores permite mejorar las prácticas de fertilización (19).

Figura 3. a) Celda de medida b) Celda insertada en un sustrato tipo hidropónico



Recuperado de: http://www.acenologia.com/ciencia73_02.htm.

Un parámetro importante para llevar a cabo la caracterización óptima del suelo es la humedad de este (21), uno de los sensores más económicos para medir este parámetro y que cuenta con un bajo consumo de energía (0.3W) utiliza la técnica de calor pulso de doble sonda (22), uno es un calentador y la sonda es un sensor de temperatura, separados a 3mm de distancia. La sonda del sensor de calor mide 4 cm de largo y 2cm de ancho lo que le permite penetrar fácilmente la tierra. El sensor se alimenta a 3.3 v y un consumo de energía de 330mW. Su batería se carga con energía solar (3.7v, 1.15A), el sensor se utiliza en el campo trabajando aproximadamente por 3.6 días sin ser recargado. Es fácil de ajustar dependiendo el terreno ya que utiliza una termocupla amplificadora y un amplificador de instrumentación (21).

Para calcular la humedad también se puede utilizar un polímero conductor específico (23). Un sensor comercial utiliza el polímero conductor 3,4-etilenodioxitiofeno-poliestireno-sulfonato, el cual, al exponerse a diferentes cantidades de humedad varían sus características eléctricas, en donde a mayor nivel de humedad menor conductividad eléctrica, siendo eficiente en cuanto a sensibilidad, precisión y respuesta rápida para calcular el nivel aproximado de humedad que se encuentra en muestras de suelo con cambios de 15-35% contenido de agua gravimétrica (21).

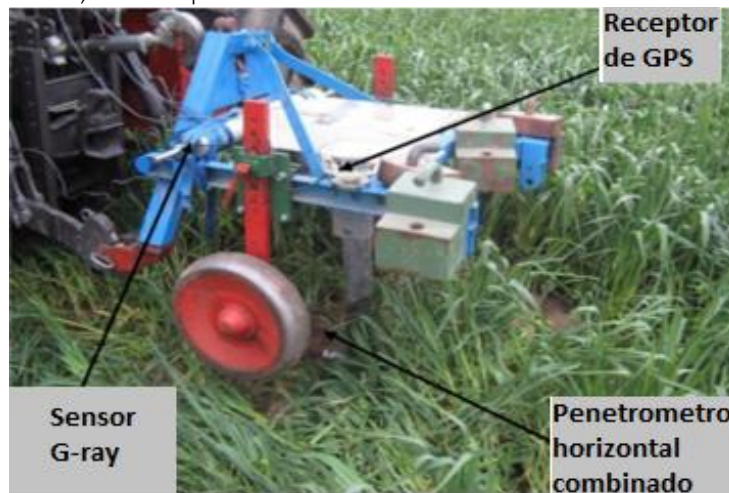
En cuanto a la fabricación del dispositivo móvil es necesario tener en cuenta que los terrenos que va a recorrer este no siempre van a estar en buen estado, la compactación del suelo afecta tanto al

desplazamiento del dispositivo como para la toma de datos para su caracterización (24). Por lo tanto, las llantas del dispositivo móvil son un punto importante para analizar.

Se han realizado estudios para obtener con precisión las características de la interacción suelo-rueda, al realizar diversos tipos de experimentos se observó que la rueda clásica no es una buena opción para esta labor (25). Para calcular las características de interacción existe un sensor que se ubica en la rueda el cual consta de, sensores de fuerza que miden la fuerza distribuida entre la rueda y el suelo, y sensores de luz que detectan con precisión el área de contacto entre ambos, de esta manera se encuentran las características de conducción de la rueda sobre la tierra suelta (25).

La compactación del suelo es otra característica que la agricultura de precisión abarca. Un sensor mecánico on-the-go mide diversas características (densidad del grano, cantidad de materia orgánica, contenido de arcilla y de agua) consta de la fusión de un penetrómetro horizontal, un sensor tipo-dieléctrico para ver el contenido de agua y un sensor G-ray para la medición de arcilla, contenido volumétrico de agua y resistencia del penetrómetro (24) como se muestra en la Figura 4. La combinación entre el sensor G-ray y el penetrómetro horizontal funciona para caracterizar el nivel de compactación del suelo. A mayor profundidad en la muestra de datos mayor eficiencia en estos (24).

Figura 4. Sistema de fusión, sensor triple.



Recuperado de: KASS, Donald C.L. Fertilidad de suelos. Costa rica: Editorial universidad estatal a distancia, 2007.

Según la bibliografía revisada se puede concluir que el uso de sensores para la caracterización de suelos es un campo que aún carece de investigación, puesto que aún no se qué conjunto de sensores es el adecuado para medir las propiedades del suelo, sin embargo, es notable la preocupación por generar cultivos más productivos sin dejar de lado el cuidando al medio ambiente.

1.4.2 Marco normativo

Según el REGLAMENTO (CE) NO 834/2007 DEL CONSEJO sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento de 28 de junio de 2007 (CEE) No. 2092/91 el proyecto a elaborar se rige por los siguientes artículos:

Artículo 5

Principios específicos aplicables en materia agraria

Además de los principios generales enunciados en el artículo 4, la producción ecológica estará basada en los siguientes principios:

- El mantenimiento y aumento de la vida y la fertilidad natural del suelo, la estabilidad y la biodiversidad del suelo, la prevención y el combate de la compactación y la erosión de suelo, y la nutrición de los vegetales con nutrientes que procedan principalmente del ecosistema edáfico.
- La reducción al mínimo del uso de recursos no renovables y de medios de producción ajenos a la explotación.
- La práctica de una producción ganadera adaptada al lugar y vinculada al suelo.

1.5 MARCO METODOLÓGICO

La metodología utilizada para llevar a cabo este proyecto consiste en realizar de manera ordenada diferentes etapas de trabajo las cuales son: investigación, selección de materiales, diseño, fabricación del dispositivo, desarrollo de aplicación Android y pruebas.

La primera etapa consiste en realizar una búsqueda exhaustiva sobre la caracterización del suelo, es decir, las características más relevantes durante el pre-cultivo y toda la información relacionada con los diversos tipos de sensores que se utilizan para esta labor; por ende, es necesario averiguar acerca de todas las investigaciones, los prototipos, los trabajos realizados relacionados con la agricultura de precisión, y así poder elegir las opciones más eficientes para este proyecto.

La segunda etapa es la selección pertinente de todos los sensores que se utilizarán, teniendo en cuenta los requisitos necesarios que demanda el proyecto. Entre las características que deben tener los sensores para un funcionamiento óptimo y eficiente, se encuentran: bajo consumo de energía, precisión, calibración sencilla, resistencia a la intemperie, compactos, nivel bajo de interferencia en la salida, entre otras.

En la tercera etapa se procede a realizar el diseño del dispositivo móvil teniendo en cuenta todos los elementos que debe tener este, ubicando así cada accesorio en una posición adecuada de tal forma que no interfiera en las mediciones de los demás. El dispositivo móvil debe tener una fuente de alimentación propia con el fin de maximizar el tiempo de uso, además contará con sistema de comunicación inalámbrico para la transmisión de dato a un dispositivo Android. Un factor de gran importancia es el mecanismo de desplazamiento, ya que el prototipo móvil se utilizará para la caracterización de suelo agrícola el cual no siempre estará en condiciones adecuadas para moverse.

En la cuarta etapa se fabrica el dispositivo móvil basándose en todos los requerimientos que se encontraron en el diseño. Obteniendo así un producto terminado listo para pasar a las pruebas.

La quinta etapa es la más importante, a pesar de que las etapas previas son necesarias y fundamentales para obtener un proyecto exitoso, la aplicación Android es la que brinda la información acerca del estado en el que se encuentra la tierra y según los datos obtenidos, entrega al usuario ciertas recomendaciones acerca de los frutos a sembrar según las características del terreno y una serie de prácticas para mejorar dichas variables del suelo.

La sexta y última etapa consiste en realizar todo tipo de pruebas necesarias las cuales demostrarán si el proyecto elaborado cumple con los objetivos propuestos y si no ver en que está fallando.

2. DISEÑO ELECTRÓNICO

Para que un cultivo se desarrolle de manera idónea es necesario conocer las condiciones adecuadas para ello; teniendo en cuenta los factores y/o características que más influyen en todo el proceso del cultivo, desde la preparación de la tierra hasta su cosecha. Entre las características del suelo más importantes se encuentran: la humedad, temperatura, salinidad y pH. En el presente capítulo se muestra la caracterización de los sensores que son utilizados para la adquisición de datos de cada una de las variables mencionadas. Además, se presentará el diagrama eléctrico en el que se realiza la sinergia entre los componentes utilizados para realizar la caracterización del suelo, el control del dispositivo móvil y el sistema de movimiento del sistema de instrumentación.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE SENSORES

Para llevar a cabo la caracterización de los diferentes tipos de sensores se desarrolló la metodología planteada en la Figura 5. Como primer paso, se debe conocer qué sensores hay en el mercado para medir cada variable requerida y en las condiciones establecidas. Conociendo las opciones existentes, se procede a seleccionar el sensor, evaluando funcionalidad y precio. Luego, se realizan pruebas con el sensor en condiciones controladas para determinar que funcione correctamente y los datos obtenidos sean coherentes con los datos reales, obtenidos por ensayos conocidos o por sensores de laboratorio calibrados. En base a los resultados obtenidos, se realiza una Gráfica para conocer el comportamiento del sensor y según esto, realizar la programación en Arduino.

Figura 5. Metodología para caracterización de sensores



Fuente: Autores

2.2 SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA

La escasez de humedad relativa (RH) afecta a aproximadamente tres cuartas partes de los suelos de cultivo a nivel mundial y es el factor principal del bajo rendimiento en éstos (26) por lo que es sumamente importante conocer la cantidad presente el suelo y así lograr controlarla.

2.2.1 Selección

A continuación, en la Tabla 1, se presentan las características de 3 alternativas de sensores que miden la humedad relativa que se encuentran en el mercado, con el fin de elegir la mejor opción.

Tabla 1. Sensores de humedad relativa

Características	Sensor (RHS) ¹	Sensor 5TM ²	Sensor de humedad relativa SHT10 ³
Rango	0 – 100% RH	Temperatura: -40 - 50°C ϵ_a : 1 (aire) a 80 (agua).	-Rango de humedad: 0 - 100%RH -Rango de temperatura: -10 - 80°C
Material	Polímero	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Peso	15 g	-	-
Consumo de energía	Tensión de alimentación 5Vcc	3.6 - 15 VDC, 0.3 mA inactivo, 10 mA durante la medición de 150 ms	5 VDC
Precisión	$\pm 8\%RH$ in -70°C, $\pm 5\%RH$ in -40°C, $\pm 3\%RH$ in -20°C	Permisividad dieléctrica aparente(ϵ_a): $\pm 1 \epsilon_a$ de 1 - 40 (rango del suelo); $\pm 15\%$ de 40 - 80.	-Precisión (humedad): $\pm 5.0\%RH$ -Precisión (temperatura): $\pm 0.5^\circ C$
Calibración		Calibración de fábrica.	
Resistencia a la intemperie	Si	Si	Si
Ventajas	Precisión mejor que el 10% de humedad relativa y una resolución de 1% de humedad relativa.	Mide Temperatura y humedad.	Rango de temperatura de -40°C ~123,8°C y de humedad: 0%~100%°C RH
Tipo de sensor	Transductor de baja potencia	Termistor	-
Dimensiones	40 x 40 x 25 mm	10 cm x 3.2 cm x 0.7cm	60 x 30 mm
Precio	230.000 (Junio 2016)	529.000 (Junio 2016)	\$72.000 (Junio 2016)

Adaptado de: ¹ <https://cab.inta-csic.es/remis/instrument-description/relative-humidity-sensor-rhs/>,
²<http://sensoresdehumedad.com/index.php/sensores/sensores-de-humedad-de-suelo/5tm-humedad-de-suelo-y-t>,
³ <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Sht10>,

Teniendo en cuenta las características de los 3 sensores descritos en la Tabla 1, se elige el sensor SHT10 (*Datasheet*, ver *anexo A*) que mide la humedad relativa y temperatura presente en el suelo. Se escogió este sensor principalmente porque es el más económico comparado con las otras opciones y, además, mide la temperatura, lo que significa mayor ahorro económico y de espacio en el sistema de instrumentación.

2.2.2 Metodología para la caracterización

Para determinar el comportamiento del sensor SHT10 es necesario comparar los resultados obtenidos con base en el método teórico “Método gravimétrico”, realizado bajo condiciones controladas.

J Método gravimétrico

Este consiste en relacionar la masa de una muestra de suelo húmeda y seca, lo anterior se expresa con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad (%)

W_w = Masa del agua (g)

W_s = Masa seca del material (g)

W_1 = Masa de recipiente más el suelo húmedo (g) ´

W_2 = Masa de recipiente más el suelo seco (g) ´

W_t = Masa del recipiente (g)

J Sensor SHT10

Es un sensor de salida digital (ver Figura 6) que permite medir temperatura a través de un sensor capacitivo y humedad relativa por medio de un sensor de intervalo de banda (27). Este sensor cuenta con un protector, el cual lo protege contra el agua, el polvo, la corrosión, entre otros.

Figura 6. Sensor SHT10



Recuperado de: <https://www.aliexpress.com/item-img/temperature-humidity-sensor-metal-stainless-steel-protective-cover-cable-for-SHT10-SHT11-SHT21-SHT71-SHT75-without/1984812957.html>

2.2.1.1. Metodología

Para realizar la caracterización de la humedad se tomó una muestra de una porción de suelo de cultivo del municipio Umbita ubicado en Boyacá, Colombia. Debido a que ésta se caracteriza por ser húmeda (ver Tabla 2), se secó en un horno de secado termostáticamente controlado, cuya temperatura se mantiene de 105 ± 5 °C durante 24 horas para luego poder realizar la caracterización del sensor SHT10 con un porcentaje de humedad relativa controlado. Durante el proceso de secado la muestra debe ser pesada regularmente hasta que su masa sea constante, como se puede ver en la Tabla 2.

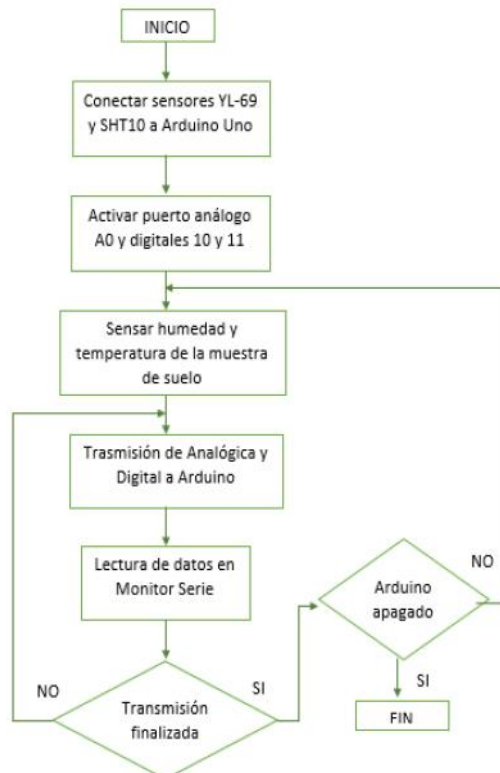
Tabla 2. Peso de muestra a través del tiempo de secado

No. Horas (h)	Masa del recipiente (g)
0	273,3
No. Horas (h)	Masa de la tierra húmeda (g)
0	2580,8
6	2397,2
12	2354,4
20	2339,7
24	2339,7

Fuente: Autores

Se toman cinco muestras de 130g de tierra seca y a cada una se le aplica 0,5 g de agua y se mide la humedad relativa con el sensor SHT10 siguiendo los pasos mostrados en la Figura 7, hasta completar 100% de RH, con una cantidad de 11g de agua.

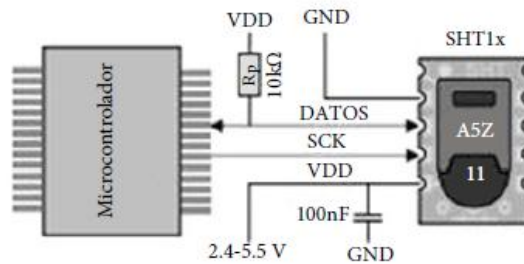
Figura 7. Diagrama de flujo de caracterización de humedad y temperatura usando los sensores YL-69 y SHT10



Fuente: Autores

En la Figura 8, se muestra la conexión del sensor SHT10 al Arduino:

Figura 8. Conexión del sensor SHT10



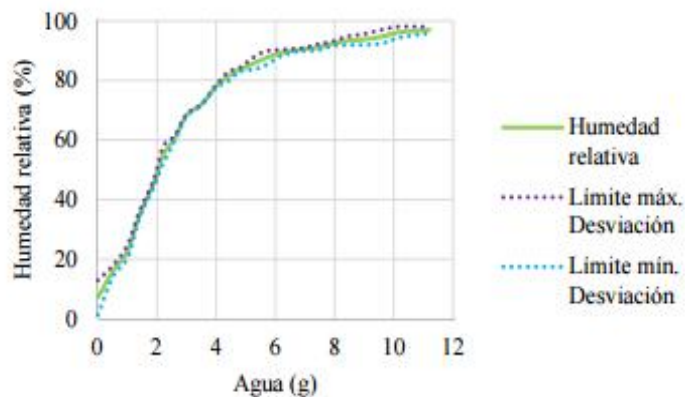
Recuperado de: ADAMCHUK, V.I., et al. Diciembre 6, 2004, Computers and Electronics in Agriculture, pp. 71-91

2.2.1.2. Resultados

Resultados obtenidos del sensor SHT10:

La humedad relativa varía dependiendo de la temperatura, por lo que las mediciones se realizaron cuando la temperatura de la muestra se encontraba entre 19 y 21 °C.

Gráfica 1. Caracterización de la humedad relativa del suelo con el sensor SHT10



Fuente: Autores

A partir de la caracterización del sensor SHT10, es posible determinar la humedad relativa del suelo y, a partir de este valor, determinar diferentes características del suelo, tales como capacidad de infiltración de agua, contenido de materia orgánica, entre otras; y según esto, tomar decisiones acerca del manejo del terreno, tanto para siembra o cuidados generales.

2.3 SENSOR DE TEMPERATURA

La temperatura también juega un papel importante en el proceso de germinación y crecimiento de los cultivos, los cuales sólo se dan en temperaturas mayores a 5 °C. La temperatura es la encargada de condicionar los procesos microbianos e influye en los procesos bióticos y químicos que se presentan en el suelo. Es un factor que presenta gran importancia para que la planta realice una absorción adecuada de los nutrientes, en especial el fósforo que se presenta en menor proporción en las regiones de climas fríos (27).

2.3.1 Selección

En la Tabla 3 se presentan las características de 3 alternativas de sensores de temperatura que se encuentran en el mercado, con el fin de elegir la mejor opción.

Tabla 3. Sensores de temperatura

	Sensor SHT10 ¹	Sensor 5TM ²	Sensor RT-1 ³
Rango	-Rango de humedad: 0 - 100%RH -Rango de temperatura: -10 - 80°C	Temperatura: -40 - 50°C ϵ_a : 1 (aire) a 80 (agua).	-40°C a 80°C
Material	Acero inoxidable	-	Acero inoxidable
Resistencia a la intemperie	SI	SI	SI
Ventajas	Mide Temperatura y humedad. Está especialmente diseñado para exteriores o aplicaciones que necesiten medir en humedad y/o temperatura en condiciones adversa	Mide Temperatura y humedad.	Resistente al agua, sumergible y diseñado para su uso continuo en exterior.
Precisión	-Precisión (humedad): $\pm 5.0\%RH$ -Precisión (temperatura): $\pm 0.5^\circ C$	Permisividad dieléctrica aparente(ϵ_a): $\pm 1 \epsilon_a$ de 1 - 40 (rango del suelo); $\pm 15\%$ de 40 - 80.	40 a - 20°C: $\pm 1,0^\circ C$ 5 a 40°C: $\pm 0,5^\circ C$ 40 a 50°C y -20 a 5° ($> \pm 1,0^\circ C$)

	Sensor SHT10 ¹	Sensor 5TM ²	Sensor RT-1 ³
Tipo de sensor	termistor	Termistor	Termistor
Tamaño	49mm x 14mm	10 cm x 3.2 cm x 0.7cm	2cm x 0,75cm
Precio	70.000 (Junio 2016)	529.000 (Junio 2016)	160.000 (Junio 2016)

Adaptado de: ¹ <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Sht10>,

²<http://sensoresdehumedad.com/index.php/sensores/sensores-de-humedad-de-suelo/5tm-humedad-de-suelo-y-t>, ³ <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/rt-1-rugged-soil-temperature-sensor/>

Debido a que anteriormente se seleccionó el sensor SHT10 (*Datasheet, ver anexo A*) para medir la humedad relativa, se concluye que este sensor es el indicado para también medir la temperatura.

2.3.1 Metodología para la caracterización

Para realizar la caracterización de la temperatura se utilizó la misma muestra de suelo que en la caracterización de la humedad, así como el mismo procedimiento, ya que todos los datos se tomaron al mismo tiempo.

Se utiliza el sensor SHT10 para medir la temperatura de cada muestra y un termómetro marca SHEAPER (Ver Figura 9), con el que se comparan los datos obtenidos, permitiendo la verificación de los resultados.

Figura 9 . Medición de temperatura con sensor SHT10



Fuente: Autores

2.3.1.1 Resultados

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el promedio de cada uno de los datos obtenidos en las 5 muestras de tierra.

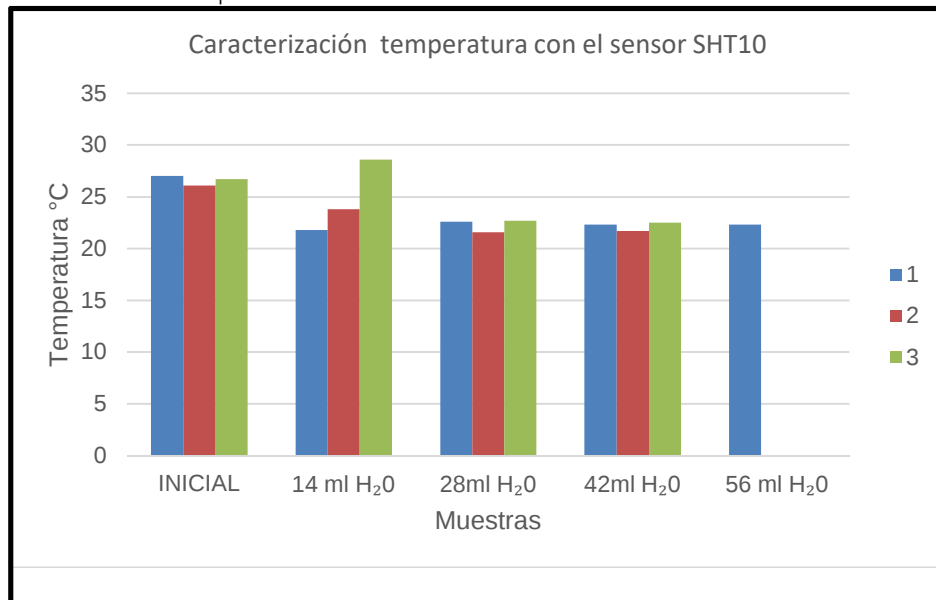
Tabla 4. Datos de temperatura obtenidos de las muestras

	INICIAL	14 ml H ₂ O	28ml H ₂ O	42ml H ₂ O	56 ml H ₂ O
V1	27	21,8	22,6	22,3	22,3
V2	26,1	23,8	21,6	21,7	21.7
V1	26,7	28,6	22,7	22,5	29.8

Fuente: Autores

Para un mejor entendimiento de los datos se muestra la Gráfica 2:

Gráfica 2. Caracterización temperatura sensor SHT10

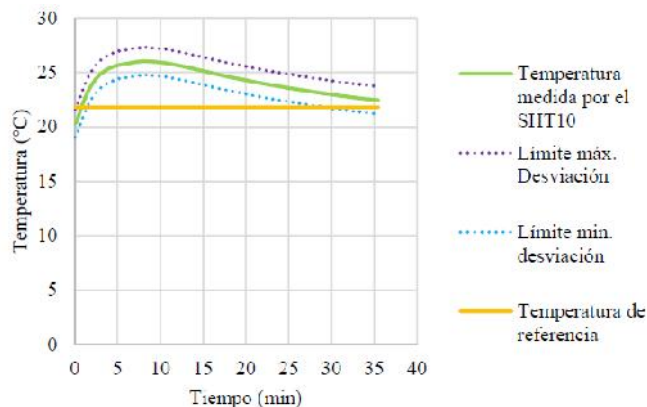


Fuente: Autores

Se observa que a medida que se le adiciona H₂O el sensor toma valores más bajos con respecto a la muestra inicial. No se realizan pruebas con más de 56ml de H₂O, debido a que el dispositivo móvil no podrá desplazarse por un terreno tan húmedo.

Con los datos obtenidos de las 5 muestras de tierra, se observa que el sensor tarda aproximadamente 17 minutos en obtener el mismo valor del termómetro, por lo cual requiere un mayor tiempo de estabilización que oscila aproximadamente entre 15 y 40 minutos (Ver Gráfica 3). Sin embargo, este fenómeno solo ocurre en la primera toma de datos, en las siguientes, el tiempo de estabilización es menor.

Gráfica 3. Tiempo de estabilización sensor SHT10



Fuente: Autores

A partir de lo anterior, se realizaron 20 pruebas en las que el tiempo promedio de estabilización fue de 17 minutos y se obtuvo un error promedio igual a 2,6%. También se realizaron 55 pruebas en donde el tiempo de estabilización fue 15 minutos y el error promedio es de 3,4 %.

2.4 SENSOR DE PH

Para la elección de un cultivo en la agricultura es de gran importancia conocer el pH del suelo ya que este indica es ácido, neutro o alcalino, a través de un valor entre 0 y 14. Es recomendable elegir el fruto a cultivar dependiendo del pH del suelo, ya que este interviene en la productividad, fertilidad y crecimiento de las plantas (26). Generalmente se considera el pH entre 6 y 7 como el adecuado para la agricultura, sin embargo, en algunos suelos con Ph igual a 8 se pueden obtener buenos rendimientos (28).

2.4.1 Selección

A continuación, en la Tabla 5, se presentan las características de 2 alternativas de sensores de pH que se encuentran en el mercado, con el fin de elegir la mejor opción.

Tabla 5. Sensores de pH

	Sensor MSP430 ¹	Sensor 0161 pH meter ²
Rango	0-14	0-14
Resistencia a la intemperie	Regular	SI

Energía de consumo	12v	5.00V
Ventajas	Robusto	conexión simple y práctica
Precisión	$\pm 0.5\text{pH}$	$\pm 0.1\text{pH}$ (25 °C)
Tipo de sensor	Analógico	Analógico
Tamaño		43mm x 32mm
Precio	180.000 (Febrero 2017)	150.000 (Febrero 2017)

Adaptado de: ¹ <http://www.mactronica.com.co/sensor-ph-arduino-analogico-msp430-96453959xJM>, ² <http://www.tme.eu/es/details/df-sen0161/modulos-de-sensores/dfrobot/sen0161/>

Teniendo en cuenta las características de los 2 sensores descritos en la Tabla 5, se elige el sensor 0161 pH Meter (*Datasheet, ver anexo A*), ya que cuenta con varias características técnicas favorables para la aplicación. Este sensor también tiene ventajas en cuanto a la accesibilidad en el mercado y el precio en comparación con la otra alternativa.

2.4.1 Metodología para la caracterización

Para realizar la caracterización del pH se utiliza tierra con un pH neutro (Ver Figura 10) la cual está en un rango de pH entre 6-7.

Figura 10. Tierra con pH neutro



Fuente: Autores

SENSOR SEN 0161

Es un medidor de pH analógico (Ver Figura 11), diseñado especialmente para los controladores de Arduino. Cuenta con un conector BNC y la interfaz de sensor de pH 2,0 (29).

Figura 11. Sensor SEN 0161



Recuperado de: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0161/>

Se utiliza el sensor 0161 para medir cada 800ms el pH de la muestra y un pH-metro (Ver Figura 12), en el que se comparan los datos obtenidos por el sensor, permitiendo la verificación de los resultados obtenidos.

Figura 12. Sensor pH 0161 y pH-metro



Fuente: Autores

Para aumentar o disminuir el pH de la muestra, es decir, volver la tierra ácida o alcalina para llevar a cabo las pruebas con el sensor, se utilizaron diferentes valores de una sustancia química llamada Buffer que hace que se afecte la concentración de los iones de hidrógeno (30). Estos valores fueron Buffer de pH4, pH7 y pH10 como se observan en la Figura 13:

Figura 13. Buffers de pH



Fuente: Autores

2.4.2 Resultados

Con los datos obtenidos se realiza un promedio de 10 valores de pH tanto de las medidas del pH metro como del sensor (Ver Tabla 6).

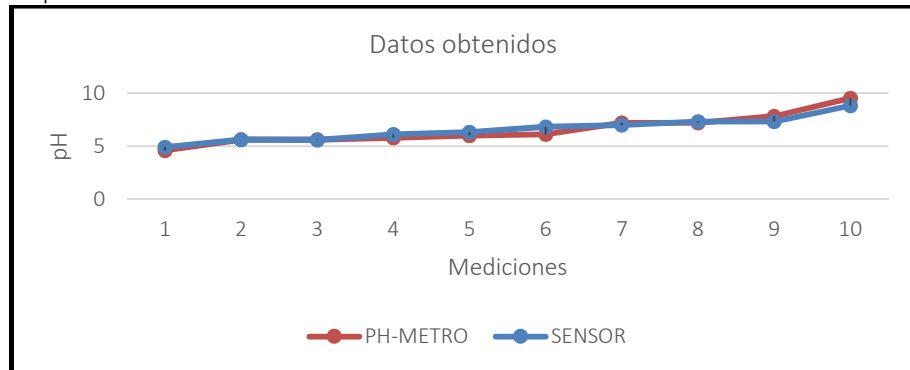
Tabla 6. Datos medidos por los sensores

TABLA DE DATOS		
Nº	PH-METRO	SENSOR 0161
1	4,6	4,9
2	5,6	5,6
3	5,6	5,59
4	5,8	6,1
5	6	6,3
6	6,1	6,8
7	7,2	6,98
8	7,2	7,3
9	7,8	7,3
10	9,5	8,8

Fuente: Autores

Para un mejor entendimiento de los datos se muestra la Gráfica 4, donde se observa que estos no tienen una mayor variación respecto a uno con el otro.

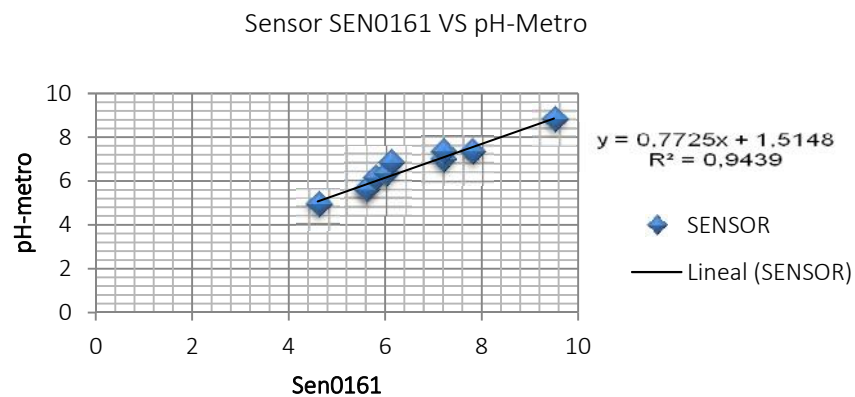
Gráfica 4. Comparación de los datos obtenidos



Fuente: Autores

Para determinar la relación entre el sensor y el pH-metro se muestra la Gráfica 5, donde se observa que la relación (R^2) es de un 94%, lo cual permite determinar que el porcentaje de error es del 5% aproximadamente.

Gráfica 5. Sensor sen0161 vs pH-Metro



Fuente: Autores

2.5 SENSOR DE CONDUCTIVIDAD

La conductividad en el suelo se ve afectada por la salinidad, la cual hace referencia a la cantidad de sales presentes en el suelo y juega un papel muy importante en la agricultura debido a que afecta el crecimiento de las plantas y cultivos, ya que disminuye la absorción del agua y hace que estos se dañen rápidamente. Para medir la salinidad en los suelos se realiza por medio de la medición de la conductividad eléctrica (CE), ya que estas se comportan directamente proporcional una en relación con la otra.

Tabla 7. Sensores de salinidad

	Sensor YL-69 ¹	Sensor CE ²
Rango	0-124 mS/cm	0 ~ 20.000 mS/cm
Material	-	Inoxidable
Resistencia a la intemperie	SI	SI
Voltaje	2 V a 6 V	DC 5 V o 12 ~ 24 V
Ventajas	Mide conductividad y humedad relativa	Mide conductividad
Precisión	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 2\%$
Tipo de sensor	Análogo	Digital
Tamaño	6 cm x 2 cm. Módulo electrónico 4 cm x 1.5 cm	10 cm
Precio	10.000 (septiembre 2016)	520.000 (septiembre 2016)

Adaptado de: ¹ <https://www.taloselectronics.com/producto/sensor-de-humedad-del-suelo/>, ² <http://www.morph2ola.com/index.php/hidrologia-2/sensor-de-c-e-y-t-es-2>

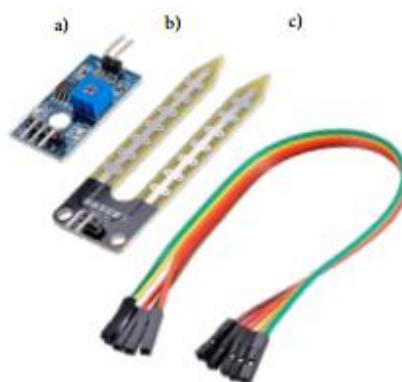
Teniendo en cuenta las características de las dos alternativas, se observa que tienen características similares. Se elige el sensor YL-69 (*Datasheet, ver anexo A*), debido a su precio y accesibilidad en el mercado.

2.5.1 Metodología para la caracterización

Sensor YL-69

Funciona a partir de la aplicación de voltaje entre dos terminales, los cuales se pueden observar en la Figura 14 b. Entre los terminales pasa determinada cantidad de corriente, la cual depende de la resistencia generada por el suelo que a su vez obedece a la humedad absoluta (31). El sensor transmite los datos por medio de una salida digital y una analógica, estas son reguladas por el circuito de control LM393 (Ver Figura 14 a), el cual se conecta a la placa de Arduino Uno (32).

Figura 14. a) Modulo LM39369. b) Sensor YL-69 c) Cable hembra-hembra



Recuperado de: <http://www.maxelectronica.cl/temperatura-y-humedad/44-sensor-de-humedad-de-suelo-yl-38-y-sonda-yl-69.html>

Para realizar la caracterización de la salinidad se utilizó el mismo tipo de muestra de tierra que se utilizó para la del pH, a la cual se le adiciona sal hasta completar 10 muestras con diferentes cantidades de sal para observar el comportamiento del sensor.

Teniendo en cuenta que los valores de los datos que toma el sensor se encuentran en un rango de 0 a 5 V, se establecen los rangos de salinidad según el dato que se mida (Ver Tabla 8).

Tabla 8. Rangos de salinidad

Datos del sensor	Rangos de salinidad
0 V – 1 V	Salinidad muy alta
1 V – 2 V	Salinidad alta
2 V – 3 V	Salinidad media
3 V – 4 V	Salinidad baja
4 V – 5 V	Salinidad muy baja

Fuente: Autores

2.5.2 Resultados

Se realiza un promedio de los valores obtenidos en cada una de las 10 muestras, en la Tabla 9 se observa el comportamiento del sensor a medida que se agrega los gramos de sal:

Tabla 9. Datos medidos por el sensor YL-69

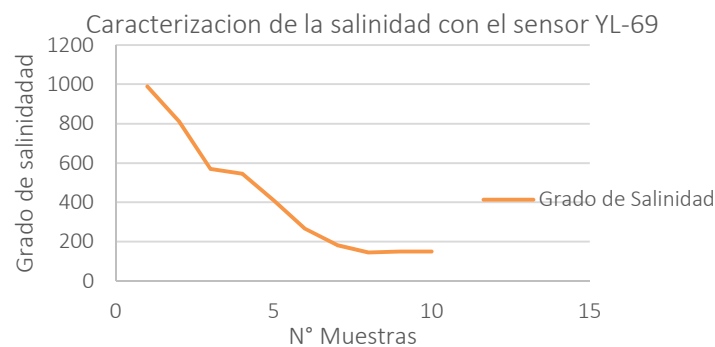
No. Muestra	Adición de sal (g)	Grado de salinidad (V) (Dato medido)
1	0	4,83

No. Muestra	Adición de sal (g)	Grado de salinidad (V) (Dato medido)
2	0,25	3,96
3	0,5	2,78
4	1	2,66
5	1,5	2,00
6	2	1,30
7	2,5	0,89
8	3	0,70
9	3,5	0,73
10	4,5	0,73

Fuente: Autores

Para un mejor análisis de los datos obtenidos se muestra la Gráfica 6, donde se observa efectivamente que a medida que se agregan los gramos de sal, el sensor arroja valores más bajos:

Gráfica 6. Caracterización de la salinidad con el sensor YL-69



Fuente: Autores

2.6 SENSOR DE COMPACTACIÓN

La importancia de la compactación radica en tener un suelo apto para cultivar, debido a que la compactación del suelo ocurre cuando las partículas están comprimidas unas con otras lo que reduce el desarrollo de las raíces, el movimiento capilar del agua y la infiltración de agua y aire; como consecuencia se incrementan la erosión hídrica del suelo (33).

Para medir la compactación en el suelo se utiliza la medida de la resistencia mecánica que ofrece el suelo, debido a que la compactación se relaciona con la resistencia al avance que ejerce el suelo en distintos rangos de profundidad (34).

2.6.1 Selección

A continuación, en la Tabla 10 se presentan las características de 2 alternativas de sensores para la medida de compactación, con el fin de elegir la mejor opción.

Tabla 10. Sensores de compactación

	Medidor SC-900 ¹	Sensor de fuerza piezorresistivo ²
Rango	0 ~ 100	100g ~ 10Kg
Material	Aluminio	Película gruesa de polímero (PTF)
Resistencia a la intemperie	SI	SI
Ventajas	Precisión	Buena disponibilidad en el mercado
Tipo de sensor	Ultrasónico	Resistivo
Tamaño	15.1 cm	6,3cm
Precio	310.000 (sep 2017)	28.000(sep 2017)

Adaptado de:

¹http://www.seedmech.com/catalog.php?code=85&page=Compactacion_de_suelo&product=170&product_name=SC-900&language=3, ² http://www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf

Teniendo en cuenta las características de las dos alternativas, se elige el sensor de fuerza piezo resistivo (*Datasheet, ver anexo A*), debido a su tamaño, precio y accesibilidad en el mercado.

2.6.2 Metodología para la caracterización

3 Sensor de fuerza piezorresistivo

El sensor de fuerza piezorresistivo (Ver Figura 15) es un dispositivo de película de polímero (PTF) que presenta una disminución de la resistencia cuando aumenta la fuerza aplicada a la superficie activa (35).

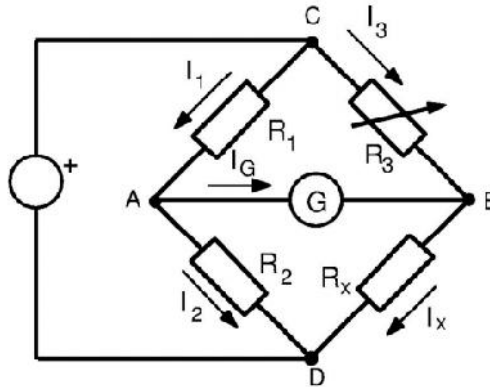
Figura 15. Sensor de fuerza



Fuente: <http://tienda.bricogeek.com/sensores/403-sensor-de-fuerza-resistivo-circular.html>

Este sensor debe ser calibrado antes de ser utilizado, ya que puede presentar datos erróneos debido a que puede variar con la temperatura y con la deformación de la sección transversal, causada por la presión o fuerzas ejercidas sobre él (36). Por ello es necesario implementar en la conexión del sensor un puente de Wheatstone, el cual se basa en lo siguiente (ver Figura 16):

Figura 16. Puente de Wheatstone



Fuente: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Puente%20de%20Wheatstone.pdf>

Donde, R_x la resistencia a medir, y R_1 , R_2 , R_3 son resistencias de valor conocido, el puente se alimenta con una fuente de tensión continua y se varía el valor de la resistencia R_3 mediante un mando hasta conseguir que el sensor indique la corriente I_g tiene un valor nulo. Donde se verifica la siguiente relación (37):

$$R = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

Se fabrica una estructura (ver Figura 17) para introducirla en el suelo y de esta manera poder ver el comportamiento de la galga según la compactación. Teniendo en cuenta que el sensor que presenta mayor dificultad al introducirse a la tierra es el STH10 se utiliza como referencia para identificar el nivel de compactación máxima soportada por el sistema de instrumentación. Para ello se introduce en la tierra el sensor SHT10 y la estructura del sensor piezoresistivo

Figura 17. estructura sensor



Fuente: Autores

2.6.3 Resultados

Al tomar la medida de la resistencia del sensor piezoresistivo cuando el sensor SHT10 no pudo ser introducido en la tierra, se determina el valor de la compactación máxima (ver Tabla 11).

Tabla 11. Nivel de compactación.

Fuerza (N)	Resistencia sensor	Voltaje a través del sensor
48	420 Ω	4.6V

Fuente: Autores

2.7 ACTUADORES

El sistema de actuadores del dispositivo móvil para la caracterización del suelo se basa en 3 motores, 2 destinados al movimiento y dirección de este y, el motor restante hace parte de la base del sistema de instrumentación.

2.7.1 Selección

Los motores encargados del movimiento y dirección del dispositivo ya estaban incluidos en el carro debido a esto no fue posible obtener información específica, sin embargo, se mide la corriente consumida:

Tabla 12. Corriente de los motores

CORRIENTE DE MOTORES		
	Voltaje	Corriente
Motor movimiento:	8,18v	1,18A
Motor dirección	8,18 v	0,45A

Fuente: Autores.

Para la base del sistema de instrumentación se presentan las características de 2 alternativas de motorreductores (Ver Tabla 13) con el fin de elegir la mejor opción.

Tabla 13. Motorreductores

	Motorreductor 8kg ¹	Motorreductor 5kg ²
Voltaje	12v	6v

	Motorreductor 8kg ¹	Motorreductor 5kg ²
Corriente	700mA	900mA
Resistencia a la intemperie	SI	SI
Torque	1.9kg-cm	0.85kg-cm
Rpm	45	150
Precio	37.000 (sep-2017)	30.000(sep-2017)

Adaptado de: ¹ <http://teslabem.com/productos/pololu/1013.html>,

²<https://www.vistronica.com/robotica/motores/motorreductores/motorreductor-6v-150rpm-5kgcm-detail.html>

Teniendo en cuenta las características de las dos alternativas, se elige el motorreductor de 8kg, debido a que tiene mayor capacidad con respecto al peso y torque. En la Figura 18, se muestra el motorreductor seleccionado:

Figura 18. Motorreductor



Recuperado de: <http://teslabem.com/productos/pololu/1013.html>

2.7.1.1. Selección de Circuito cambio de giro motores

Para que un motor de corriente continua realice el cambio en alguno de los sentidos posibles de giro (derecha o izquierda), se utilizan diferentes clases de circuitos, por ello en la Tabla 14, se comparan 3 alternativas, con el fin de elegir una de ellas:

Tabla 14. Alternativas Cambio de Giro Motores

	Puente H Transistores ¹	Puente con Reles ²	Puente L293D ³
Características	Este H-puente puede funcionar desde una fuente de energía desde hasta sólo dos casi-agotadas baterías AAA ¹ (2.2V) hasta una batería fresca 9V (9.6V). Los	Es un diseño simple, con el cual se puede controlar el encendido, la dirección del giro y el frenado del motor DC. Este circuito es apropiado para	Incluye cuatro circuitos para manejar cargas de potencia media, en especial pequeños motores y cargas inductivas, con la

	Puente H Transistores ¹	Puente con Reles ²	Puente L293D ³
	transistores son los populares(2N3904/2N3906 contra 2N2222A/2N2907A) usando un motor común pequeño.	aplicaciones simples donde no es necesario el control de velocidad. Voltaje de operación de 5V, 9V y 12V Señales de control de 3 a 6V	capacidad de controlar corriente hasta 600 mA en cada circuito y una tensión entre 4,5 V a 36 V

Adaptado de: ¹<http://jorgefloresvergaray.blogspot.com.co/2009/03/puente-en-h-con-transistores.html>, ²<http://solarlightmexico.com/ingfernandoruiz/Puentes%20H/Puente%20H.html>, ³http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_L293D.ht

Para el cambio de giro y control de potencia se selecciona el circuito con Relés, el plano de conexión se puede observar en el Anexo D.

2.8 SISTEMA DE CONTROL

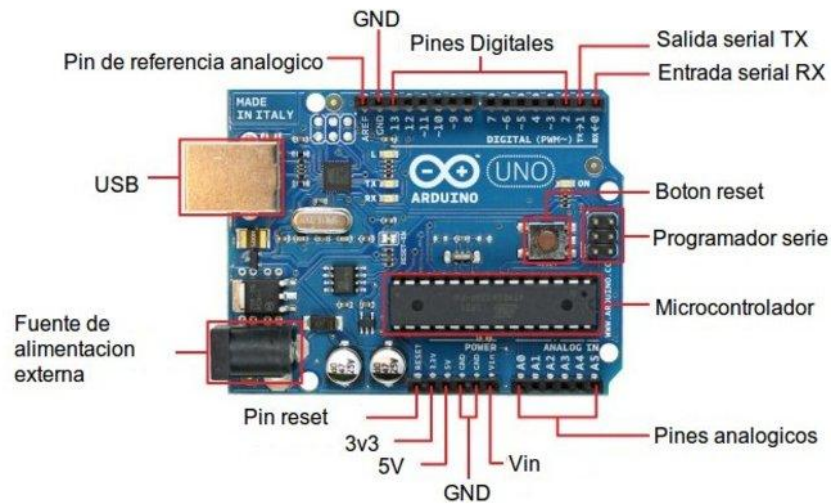
Para el sistema de control del dispositivo móvil donde se conectan los sensores, actuadores y otros elementos necesarios para el control y la comunicación con el sistema, se elige la placa de desarrollo Arduino Uno, teniendo en cuenta las siguientes ventajas:

-) Económico: Las placas Arduino son relativamente económicas comparadas con otras plataformas.
-) Multiplataforma: El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.
-) Entorno de programación simple: El entorno de programación de Arduino es fácil de usar.
-) Código abierto: El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto.
-) Hardware extensible: Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo (38).

2.8.1 Arduino UNO

El hardware de Arduino consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields), que amplían los funcionamientos de la placa Arduino. Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación con el computador (39) (Ver Figura 19).

Figura 19. Placa Arduino



Recuperado de: <http://hola-geek.com/blog/arduino-uno-ya-lo-conocias/arduino-partes11/>

2.9 SISTEMA DE COMUNICACIÓN

El sistema de comunicación del dispositivo móvil consta de un módulo de Bluetooth que permite la transferencia de datos de entre la aplicación y el dispositivo móvil para el control del desplazamiento y accionamiento del sistema de instrumentación de este, y de un módulo WIFI que permite el envío de datos de los sensores a la aplicación. A continuación, se describen los dos módulos utilizados:

2.9.1 Modulo Bluetooth

Se debe elegir el módulo bluetooth para realizar la comunicación entre la aplicación Android y el dispositivo móvil. En la Tabla 15 se realiza la comparación entre los módulos Bluetooth HC-05 y HC-06.

Figura 20. Módulo HC-05



Recuperado de: <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-05-serial-rs232/>

Tabla 15. Características Bluetooth HC-05

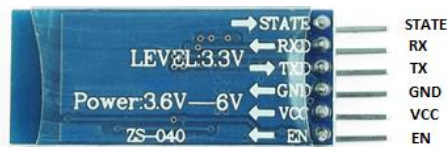
Características	HC-05	HC-06
Voltaje de alimentación	3.3VDC – 6VDC.	3.6 - 6VDC
Protocolo bluetooth	V2.0	V2.0 + EDR
Modo de operación	Maestro o esclavo	Esclavo
Frecuencia	2.4 Ghz	2.4 Ghz
Consumo de corriente	<40mA	30mA – 40mA
Precio	\$16.000 (Septiembre, 2017)	\$14.800 (Septiembre, 2017)

Adaptado de: https://www.ardobot.com/bluetooth-hc-05.html?gclid=Cj0KCQjwjdLOBRCKARIsAFj5-GCRA0Im9s_2SCP9tVU8gFQ9nrS5_7CKqmluLDrxKJzrByKUseMVIAQaAveSEALw_wcB y <https://www.ardobot.com/modulo-bluetooth-hc-06.html>

Se elige el módulo de bluetooth HC-05 (Ver Figura 21), para la comunicación entre la aplicación y el dispositivo móvil debido a que se puede utilizar como maestro o esclavo.

La tarjeta del HC-05 posee 6 pines, los cuales son:

Figura 21. Pines HC-05



Recuperado de: http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_conFiguracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html

Los pines utilizados para esta aplicación son:

-) GND: Tierra
-) VCC: Voltaje de alimentación
-) RX Y TX: los datos que se ingresan al HC-05 por el Pin RX se transmiten por bluetooth al dispositivo conectado, y los datos recibidos se devuelven por el pin TX (40).

2.9.2 Módulo WIFI

El módulo de WIFI se utiliza para el sistema de comunicación entre la aplicación Android y los sensores. Para definir el módulo a utilizar, en la Tabla 16 se comparan los módulos esp8266 y el ESP32.

Tabla 16. Características módulo WIFI

Características	ESP8266	ESP32
Voltaje de alimentación	3.3VDC – 6VDC.	2.2 - 3.6VDC
Procesador	Tensilica LX106 32 bit a 80 MHz hasta 160 MHz	Tensilica Xtensa LX6 32 bit Dual-Core a 160 MHz hasta 240 MHz
Memoria RAM	80 kB (40 kB disponibles)	520 kB
Consumo de corriente	80 mA y máximo 225 mA	80 mA y máximo 225 mA
Regulador interno	de 3.6 a 6V	
Precio	\$15.000 (Septiembre, 2017)	\$95.000 (Septiembre, 2017)

Adaptado de: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>,
<http://tdrobotica.co/spakrfun-esp32-thing/540.html> y
<http://blog.bricogeek.com/noticias/electronica/comparativa-y-analisis-completo-de-los-modulos-wifi-esp8266-y-esp32/>

Se elige el módulo esp8266 (Figura 22) debido a que es más económico y su funcionalidad se adapta a los requerimientos del proyecto.

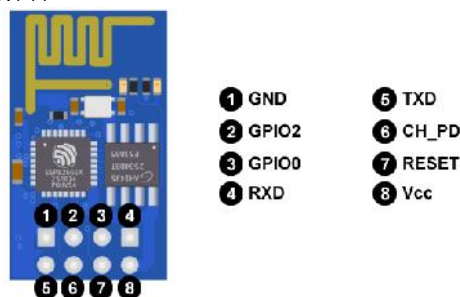
Figura 22. Módulo WIFI



Recuperado de: <http://www.prometec.net/producto/esp-8266-01/>

El módulo ESP8266 tiene 8 puertos los cuales se observan en la Figura 23:

Figura 23. Puertos del módulo WI-FI



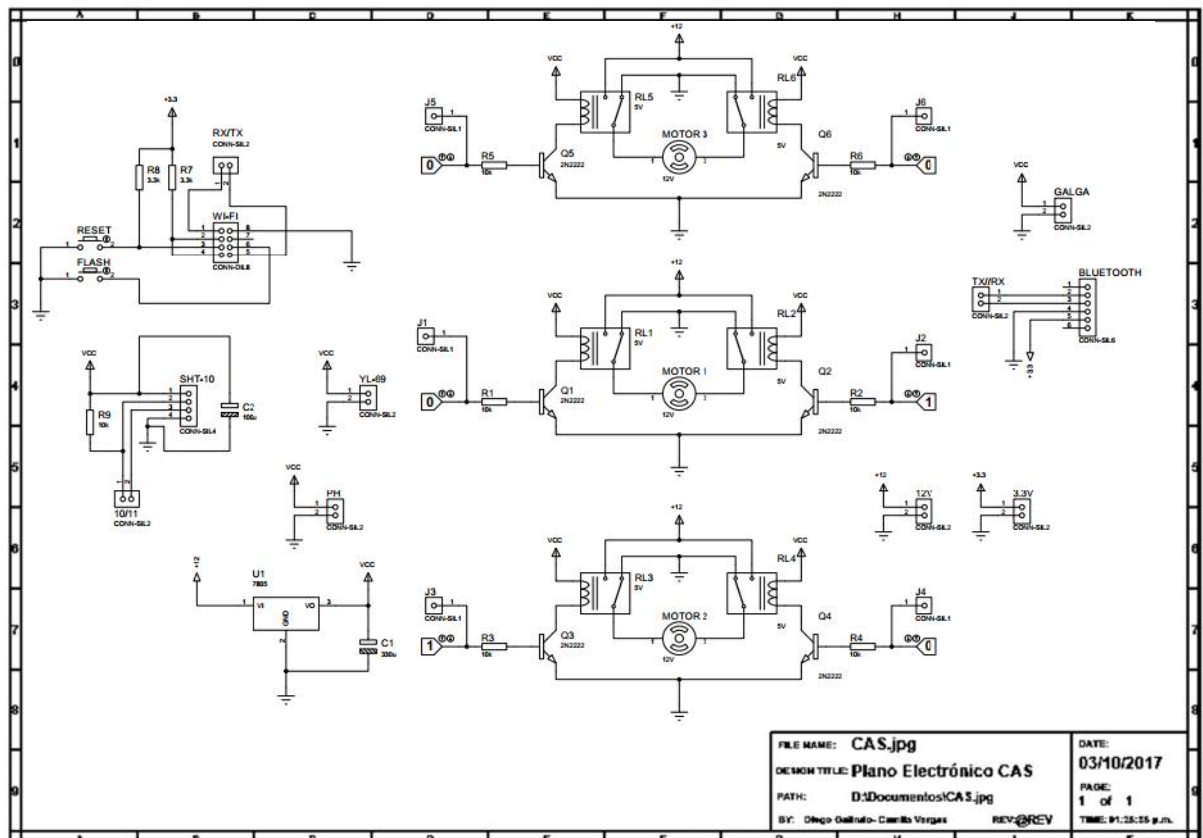
Recuperado de: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>

-)} VCC: Voltaje de alimentación
-)} GND: Tierra
-)} RST: Reset
-)} CH_PD: selección de chip no son pines E/S, pero son necesarios para el funcionamiento del módulo (41).
-)} GPIO0, GPIO2: determinan el modo de arranque del módulo (41).
-)} TX/RX: se utiliza para programar el módulo y así mismo, de E/S serie, comúnmente utilizado para la depuración (41).

2.10 PLANO DE CONEXIÓN

En la Figura 24 se muestra el diagrama de conexión de todos los elementos electrónicos integrados del dispositivo:

Figura 24. Plano de conexiones



2.11 BATERIA

Para la selección de la batería se tiene en cuenta que el voltaje de operación del sistema es de 12 VDC, además del consumo total del sistema y los motores, para ello se tiene en cuenta el consumo de corriente de cada uno de los componentes electrónicos del dispositivo en funcionamiento (ver Tabla 17)

Tabla 17. Corriente de los dispositivos electrónicos

Dispositivo	Corriente medida (mA)
Sensor SHT10	50
Sensor YL-69	35
Sensor piezorresistivo	20
Sensor pH	37
Modulo Bluetooth	40
Modulo Wifi	80
Motor dirección	0.45
Motor movimiento	1180
Motor Sistema instrumentación	700
Puente Relés	225
Arduino Uno	45
Total	2412

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que el consumo de corriente del sistema es de 2412 mA~ 2.5 A, y el tiempo de duración de funcionamiento del carro es 2 horas, se realiza el siguiente cálculo para conocer la batería que se debe utilizar:

Donde:

I_c = Consumo de corriente del dispositivo

h = Cantidad de Horas que debe estar en funcionamiento

I_b = Corriente de la batería

$$I_c \cdot h = I_b$$

Entonces:

$$2.5A \cdot 2h = 5AH$$

La batería seleccionada entonces es una de 12VDC – 5A

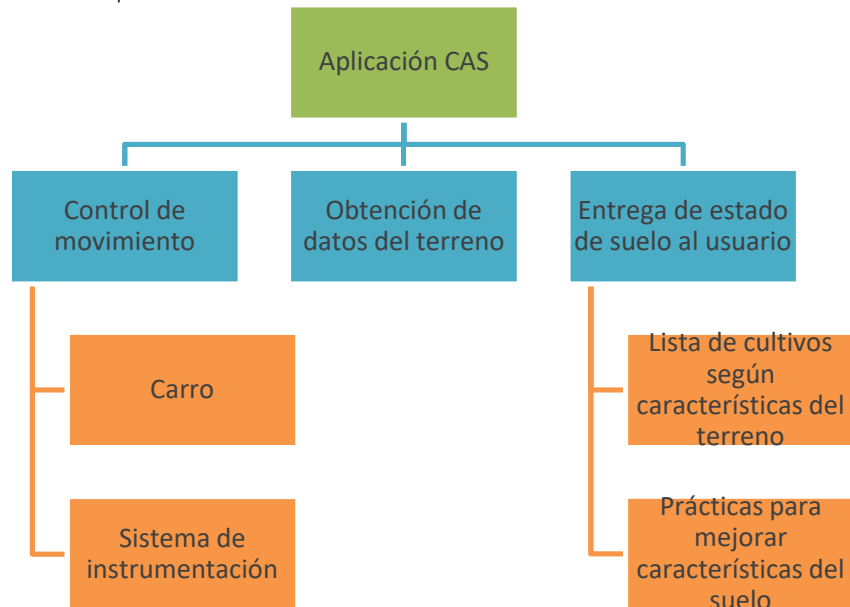
2.12 ASPECTOS DESTACADOS EN ESTE CAPÍTULO

-) Selección del sistema de instrumentación:
 - Sensorica: sensor YL-69, sensor SHT10, Sensor piezoresistivo y sensor pH 0161
 - Comunicación: módulo WI-FI ESP88266, modulo Bluetooth HC-05
-) Caracterización de los sensores seleccionados
-) Selección del motorreductor de 1,9 kg-cm a 12v para el sistema de instrumentación.

3. DESARROLLO APLICACIÓN ANDROID

Para llevar un control de los datos obtenidos del terreno y manejar el carro se realizó una aplicación Android llamada CAS en la página <http://appinventor.mit.edu>, en donde el usuario a través del módulo Bluetooth HC-05 puede manejar el carro y realizar la toma de datos por medio de los sensores. Los datos obtenidos se envían a una base de datos en la página www.thingspeak.com haciendo uso del módulo WIFI ESP-8266, en la que se mostrará una Gráfica del histórico de datos tomados del terreno. Para finalizar, se mostrará como resultado el estado del terreno en cuanto a humedad relativa, temperatura, pH y porcentaje de conductividad eléctrica. Con estos datos el usuario podrá verificar qué producto es apto para sembrar en terreno y qué procedimientos debe realizar para mejorar las características del mismo.

Figura 25. Contenido aplicación CAS



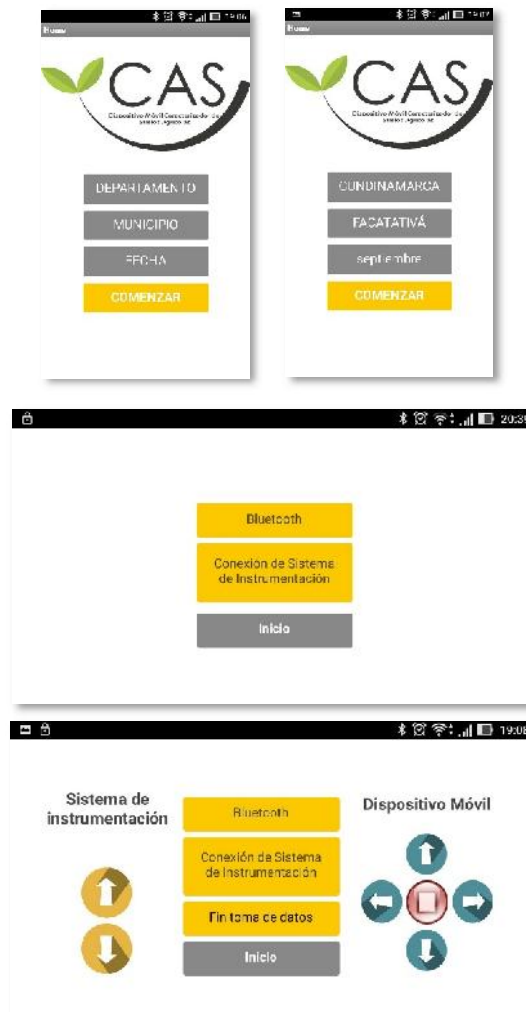
Fuente: Autores

3.1 DISEÑO

El diseño de la aplicación CAS se realizó de tal forma que fuese intuitiva, eficaz y útil para el usuario. Lo primero que el usuario debe hacer cuando abre la aplicación es seleccionar el departamento en el que se encuentra y el municipio, la fecha se detecta automáticamente al presionar el botón, a continuación, oprime el botón “COMENZAR”, el cual lo dirige a la pantalla de control, donde el usuario se debe conectar por medio de Bluetooth al carro para que le aparezcan los botones de control tanto del carro como del sistema de instrumentación (Ver Figura 26).

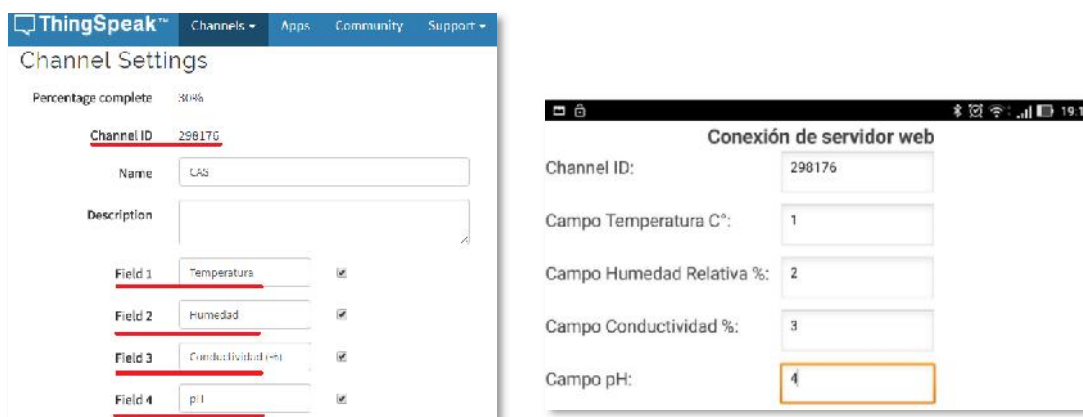
El usuario también debe realizar la conexión de los sensores a la base de datos en www.thingspeak.com para poder recibir las características del terreno (humedad relativa, temperatura, pH y conductividad) obtenidas por los sensores a través de Wi-Fi. Esta conexión se lleva a cabo escribiendo el ID del canal del usuario, en donde se almacenarán los datos tomados del terreno, seguido de los campos en el que se almacenan los datos de los diferentes sensores (ver Figura 26). Después de realizar estas configuraciones, el usuario podrá comenzar a manejar el dispositivo y tomar muestras en diferentes partes del terreno.

Figura 26. Aplicación CAS



Fuente:Autores

Figura 27. Ajustes conexión sistema de instrumentación con aplicación CAS.



Fuente: Autores

Cuando el usuario haya tomado los datos que requiera, debe oprimir el botón “Fin toma de datos” y a continuación se abrirá la página de resultados, donde el usuario podrá ver el porcentaje de humedad relativa de su terreno, así como la temperatura, pH y el porcentaje de conductividad (este porcentaje depende de la cantidad de agua presente en el suelo y de la cantidad de sales en el mismo). Además, al oprimir el botón “Gráfica” se podrá observar el histórico de datos tomados, esta cantidad de datos se puede modificar desde la página www.thingspeak.com. En esta ocasión se toma un histórico de 500 datos, en donde se puede ver fecha, hora y valor obtenido (ver Figura 28).

Figura 28. Resultados obtenidos del terreno.

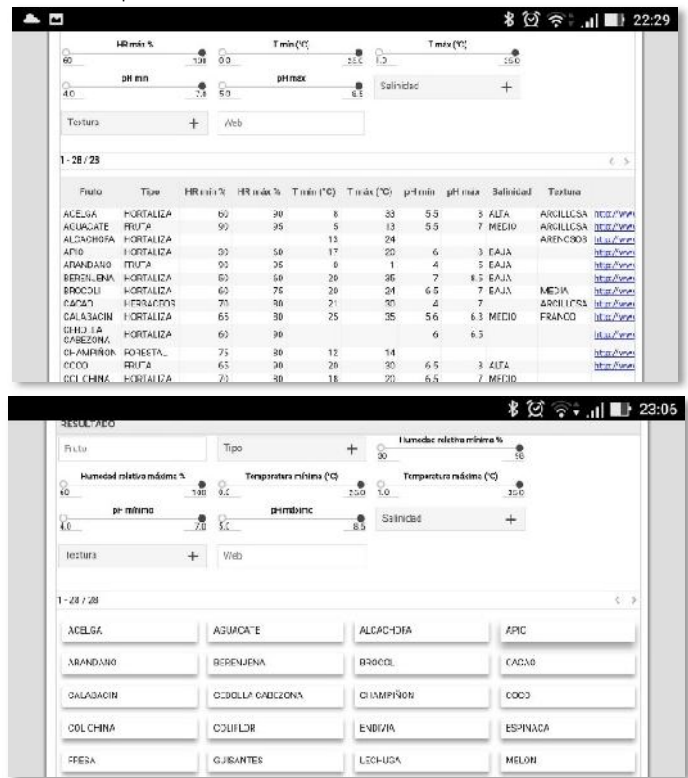


Fuente: Autores

Según los datos obtenidos, el usuario puede conocer el fruto más adecuado dentro de la lista para sembrar según las características del terreno. Para esto, el usuario en primer lugar debe escoger cómo quiere ver los datos, si en Tabla o por medio de cartas (ver Figura 29), luego podrá filtrar por medio de diferentes sliders las deferentes características como: Humedad relativa mínima, humedad relativa máxima, temperatura mínima, temperatura máxima, pH mínimo y pH máximo. Además, puede escoger la resistencia a la salinidad del fruto y la textura del suelo. Se aclara que la base de

datos se realizó según los frutos que normalmente se siembran en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca según el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (42).

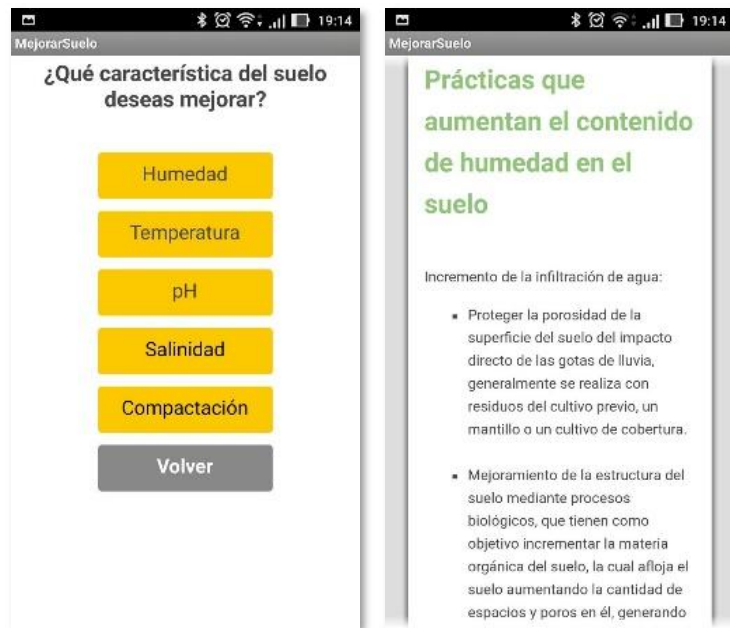
Figura 29. Selección de fruto en aplicación.



Fuente: Autores

Otra de las funciones con la que cuenta la aplicación CAS se trata de conocer los procedimientos que se deben realizar para mejorar las características del suelo. Para entrar a esta función debe seleccionar el botón “Mejorar calidad del suelo” que aparece debajo de la sección de selección de fruto. En seguida, aparecerá un menú con las diferentes características que se pueden mejorar, entre ellas están la humedad, temperatura, pH, salinidad y compactación. Al seleccionar alguna, aparecerá una página con diferentes prácticas que el usuario puede realizar para mejorar dicha propiedad del terreno (ver Figura 30).

Figura 30. Prácticas para mejorar características del suelo en la aplicación CAS.



Fuente: Autores

A continuación, se explicará con más detalle las configuraciones que se llevaron a cabo para lograr la integración entre aplicación Android, módulo Bluetooth HC-05, módulo WIFI esp8266 y Arduino.

3.2 CONFIGURACIÓN DE CONEXIONES INALÁMBRICAS

3.2.1 Movimiento del carro y sistema de instrumentación por Bluetooth

La interacción entre el usuario y el control de movimientos del carro se lleva a cabo por medio del módulo Bluetooth HC-05. El desarrollador de aplicaciones Android MIT App Inventor permite configurar desde su plataforma la comunicación entre el Bluetooth del celular con el del carro, que está conectado a Arduino.

La configuración se basa en vincular el Bluetooth del celular con el módulo Bluetooth HC-05, al que se le enviarán las señales preestablecidas en la aplicación Android para realizar el control de movimientos del carro y del sistema de instrumentación. Cuando el módulo HC-05 reciba dichas señales, en Arduino se llevará a cabo el procesamiento de éstas y se enviarán las señales a los motores para realizar los movimientos indicados por el usuario (carro: adelante, reversa, izquierda y derecha; sistema de instrumentación: arriba y abajo). (Ver Figura 31).

Figura 31. Control movimientos del carro



Fuente: Autores

3.2.2 Recepción de datos por WIFI

Los diferentes sensores que constituyen el sistema de instrumentación leen gran cantidad de datos en un corto periodo de tiempo y estos deben recordarse para que el usuario pueda tener un histórico del comportamiento de su terreno, por lo que no es viable almacenarlos en Arduino, así que se decidió almacenar cierta cantidad de estos en el sitio web www.thingspeak.com. Para lograr esto, los datos se deben enviar vía Wifi a la página web y, ésta se debe configurar para almacenarlos correctamente.

3.2.2.1 Configuración módulo ESP8266

Para Configurar el módulo Wifi esp8266 lo realiza a través de Arduino, en primer lugar, se añade la librería `SoftwareSerial.h` y define los puertos RX y TX, luego especifica el nombre de la red a la que se conectará junto con la contraseña. El módulo se debe configurar comandos AT, con el fin de asegurar que la velocidad de transmisión serial será igual a 9600 baudios (`AT+CIOBAUD=9600`) y estará en modo estación (`AT+CWMODE=1`). Al realizar por primera vez la configuración del módulo es recomendable resetearlo (`AT+RST`) y después configurarlo.

3.2.2.2 Configuración de página web

En primer lugar, debe dirigirse a la página web www.thingspeak.com, crear una cuenta y un nuevo canal luego, le asigna un nombre y activa los campos que va a utilizar para los sensores. Al guardar estas configuraciones, automáticamente se generará un ID del canal y dos claves API, una para escribir en el canal y otra para leer los datos que tiene el canal.

Después de realizar la configuración del módulo esp8266, va a ingresar la clave API para escribir, con el fin de escribir los datos obtenidos por los sensores en el canal creado. A continuación, crea una subrutina llamada `thingspeak` con parámetros de entrada, que serán los valores que envían los diferentes sensores. En esta subrutina establece la conexión TCP con thingspeak, cuya dirección IP es 184.106.153.149, luego prepara la cadena de caracteres que se enviarán, ésta contiene la clave API,

y el valor de los sensores que se le asignará a cada campo seleccionado con anterioridad. Utiliza el comando AT “AT+CIPSEND” para enviar la cadena de caracteres a thingspeak.

Figura 32. Configuración del módulo esp8266 y thingspeak



Fuente: Autores

3.3 ASPECTOS DESTACADOS EN ESTE CAPÍTULO

- J Desarrollo de aplicación Android llamada CAS.
- J La aplicación CAS permite al usuario realizar el control de movimientos por bluetooth del carro y del sistema de instrumentación.
- J En la aplicación CAS se reciben los datos obtenidos por los sensores de forma inalámbrica.
- J El usuario puede ver el histórico de datos acerca de su terreno en la aplicación CAS.
- J El usuario puede filtrar y escoger el fruto que es conveniente sembrar en su cultivo en base a los resultados obtenidos del terreno.
- J Según las características del terreno, el usuario encontrará una sección de buenas prácticas para mejorar las características del suelo.

4. DISEÑO MECÁNICO

En el siguiente capítulo se presentará el diseño mecánico del sistema de instrumentación del dispositivo móvil el cual es la estructura donde se ubicarán los sensores para la toma de datos de las diferentes variables utilizadas para realizar la caracterización del suelo. Para ello se determinará los requerimientos, cálculos de esfuerzos, selección de materiales y demás factores que garantizan un buen funcionamiento del sistema de instrumentación.

4.1 REQUERIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA

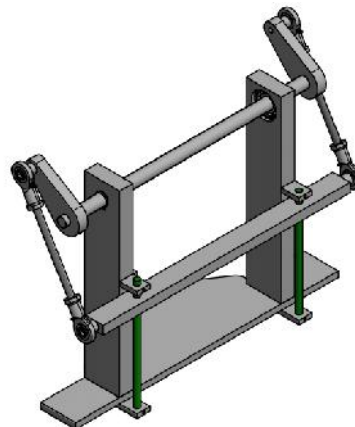
Para el diseño mecánico de la estructura donde se ubican los sensores del dispositivo, se determinan los requisitos de diseño de acuerdo con las siguientes variables:

- Σ Tamaño: Se busca que la dimensión de la estructura sea proporcional con el tamaño del carro (dispositivo móvil).
- Σ Peso: Es necesario que la estructura sea liviana, con el fin de que el carro la pueda transportar.
- Σ Robustez: Tiene que ver con el diseño de la estructura y la selección de los materiales que se van a utilizar, de tal forma que la estructura soporte las cargas y esfuerzos durante el movimiento.

4.2 SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN

El sistema de instrumentación hace parte del dispositivo móvil, esta estructura tiene como objetivo sostener y desplazar los sensores para realizar la toma de datos de las características del terreno. En la Figura 33 se muestra la estructura:

Figura 33. Sistema de instrumentación

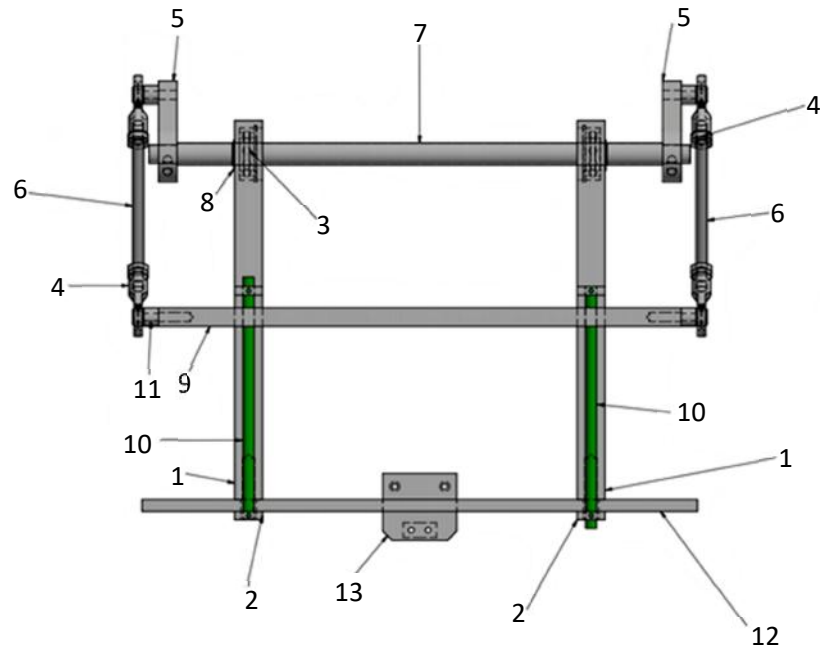


Fuente: Autores

4.2.1 Componentes de la estructura

En la Tabla 18 se observa el listado de todas las partes del sistema de instrumentación.

Figura 34. Partes del sistema de instrumentación



Fuente: Autores

Tabla 18. Lista de partes Estructura

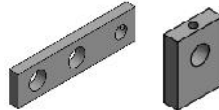
LISTA DE PARTES		
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	2	Columna
2	2	Acople columna
3	2	Rodamiento
4	4	Rótula hembra
5	2	Leva
6	2	Tornillo unión rotulas
7	1	Eje principal
8	2	Anillo de sujeción
9	1	Placa principal de sensores
10	2	Eje guia
11	2	Buje
12	1	Placa principal
13	1	Agarre

Fuente: Autores.

Los elementos que componen la estructura se describen a continuación:

- Acoples: Son elementos que sirven para alargar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes. Existen diferentes formas de acoples, para la estructura del dispositivo se utilizarán acoples como los mostrados en la Figura 35.

Figura 35. Acoples



Fuente: Autores- Auto CAD

- Agarre: Esta placa tiene como fin ser la unión entre el carro con el sistema de instrumentación. Ésta tendrá soldada la placa principal, en donde se apoya todo el sistema de instrumentación.

Figura 36. Agarre



Fuente: Autores-Auto CAD

- Columnas: Es una pieza de soporte vertical, en la que se apoya el eje principal a través de un rodamiento (ver Figura 37).

Figura 37. Columna

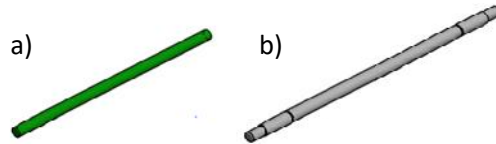


Fuente: Autores-Auto CAD

- Eje: El eje es un elemento constructivo destinado a guiar el movimiento de rotación a una pieza o de un conjunto de piezas (43), en este caso, el eje b que se muestra en la Figura 37 tiene como objetivo guiar el movimiento (arriba y abajo) de la placa de sensores, esto lo

realiza a través de levas. El eje a, tiene como fin guiar el desplazamiento de la placa de sensores.

Figura 38. Ejes



Fuente: Autores- Auto CAD

-) Leva: Este elemento (Ver Figura 39) mecánico que va sujeto a un eje, permite la transformación del movimiento circular del eje a un movimiento rectilíneo, en el que se desplazará la placa de sensores.

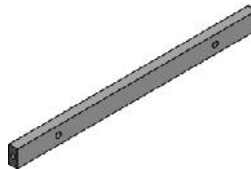
Figura 39. Leva



Fuente: Autores- AutoCAD

-) Placa sensores: En esta placa se ubicarán los diferentes sensores que se utilizarán para llevar a cabo la caracterización del suelo.

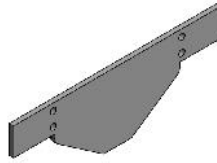
Figura 40. Placa para sensores



Fuente: Autores-AutoCAD

-) Placa principal: En la placa principal es la base del sistema de instrumentación (Ver Figura 41).

Figura 41. Placa principal



Fuente: Autores-AutoCAD

⌋ Buje: Esta pieza cumple la función de unir la rótula y la placa para sensores.

Figura 42. Buje

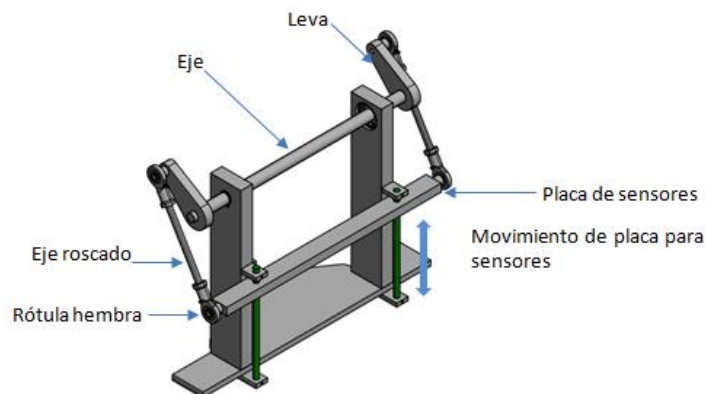


Fuente: Autores-AutoCAD

4.2.2 Sistema de movimiento

El sistema de movimiento tiene como objetivo mover la placa donde están ubicados los sensores de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba. Este sistema se compone de un eje que rota debido a un tren de engranajes conectado a un motor que entrega un torque igual a 0,19 Nm. En las esquinas del eje se encuentran dos levas conectadas cada una a una rótula, que por medio de un eje roscado se une a una rótula que está conectada por medio de un tornillo a la placa donde se encuentran los diferentes sensores.

Figura 43. Sistema de movimiento del sistema de instrumentación



Fuente: Autores

A continuación, se analizará el mecanismo del sistema de movimiento en el instante uno, cuando la placa de sensores está suspendida, y en el instante dos, cuando la placa de sensores baja para insertar los sensores en el suelo.

4.2.2.1 Instante Uno

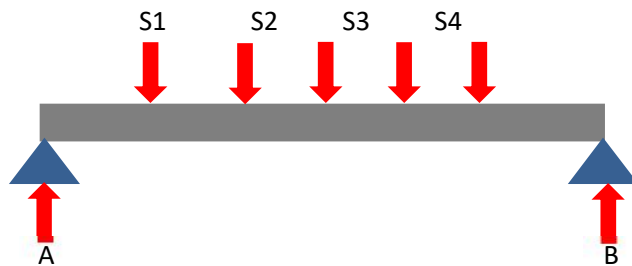
Placa para sensores: La placa donde estarán ubicados los sensores cuando se encuentra suspendida se verá afectada por sólo por el peso de los sensores, esto ocurre en el instante uno. A continuación, en la Tabla 19 se presentarán las fuerzas ejercidas sobre la placa junto con su respectiva ubicación.

Tabla 19. Fuerzas en placa para sensores en instante 1

Nombre	Descripción	Fuerzas (N)	Distancia (m)
A	Unión buje-placa	0,596096452	0
S1	Sensor pH	0,2107	0,0792
S2	Sensor YL69	0,0294	0,1097
S3	Sensor Compactación	0,147	0,1402
S4	Sensor SHT10	0,85554	0,1707
S5	Sensor HC-SR04	0,049	0,2012
B	Unión buje-placa	0,695543548	0,2824

Fuente: Autores.

Figura 44. Diagrama de fuerzas sobre la placa para sensores en instante 1



Fuente: Autores

Ecuación de carga

$$q = Ax^{-1} - S1 < x - 0,0792 >^{-1} - S2 < x - 0,1097 >^{-1} - S3 < x - 0,1402 >^{-1} - S4 < x - 0,1707 >^{-1} - S5 < x - 0,2012 >^{-1} + B < x - 0,2824 >^{-1}$$

Los diagramas de fuerza cortante, momento flector, desplazamiento y deflexión se encuentran en el anexo C.

Cortante

$$V = A - S1 < x - 0,0792 >^0 - S2 < x - 0,1097 >^0 - S3 < x - 0,1402 >^0 - S4 < x - 0,1707 >^0 - S5 < x - 0,2012 >^0 + B < x - 0,2824 >^0$$

Momento

$$M = A - S1 < x - 0,0792 > - S2 < x - 0,1097 > - S3 < x - 0,1402 > - S4 < x - 0,1707 > - S5 < x - 0,2012 > + B < x - 0,2824 >$$

Pendiente

$$\theta = \frac{1}{2E} (Ax^2 - S1 < x - 0,0792 >^2 - S2 < x - 0,1097 >^2 - S3 < x - 0,1402 >^2 - S4 < x - 0,1707 >^2 - S5 < x - 0,2012 >^2 + B < x - 0,2824 >^2 + C_1)$$

Donde C_1 es igual a -0,006.

Deflexión

$$y = \frac{1}{E} \left(\frac{A}{6} x^3 - \frac{S1}{6} < x - 0,0792 >^3 - \frac{S2}{6} < x - 0,1097 >^3 - \frac{S3}{6} < x - 0,1402 >^3 - \frac{S4}{6} < x - 0,1707 >^3 - \frac{S5}{6} < x - 0,2012 >^3 + \frac{B}{6} < x - 0,2824 >^3 + C_1 x + C_2 \right)$$

Donde C_2 es igual a 0 cuando $x=0$.

) Rótulas y eje roscado: Habiendo encontrado las fuerzas A y B, se suma a cada una la mitad del peso de la placa, el cual es igual a 0,83 N. Con el fin de que el análisis sea igual en los dos extremos de la placa, se asume que las fuerzas A y B iguales a 1,5 N. Estas fuerzas son la componente y de R_1 en cada una de las rótulas.

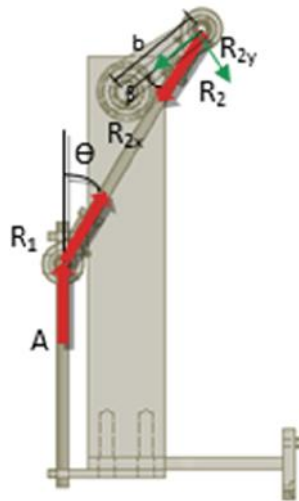
Inicialmente se halla R_1 que tiene la misma magnitud de R_2 en sentido contrario, estando ésta sometida a tensión:

$$R_1 = R_2 = \frac{A}{c}$$

Las componentes x e y de la fuerza R_2 intervienen en el eje principal, siendo R_{2x} la fuerza que genera flexión del eje y M_{R2y} el torque en el eje en el instante 1.

$$\begin{aligned} R_{2x} &= R_2 \cos\beta \\ R_{2y} &= R_2 \sin\beta \\ M_{R2y} &= R_{2y} * b \end{aligned}$$

Figura 45. Fuerzas en rotulas y eje roscado en instante 1



Fuente: Autores.

En la Tabla 20 se observan los valores de cada una de las variables.

Tabla 20. Variables del análisis de rótula y eje roscado en instante 1.

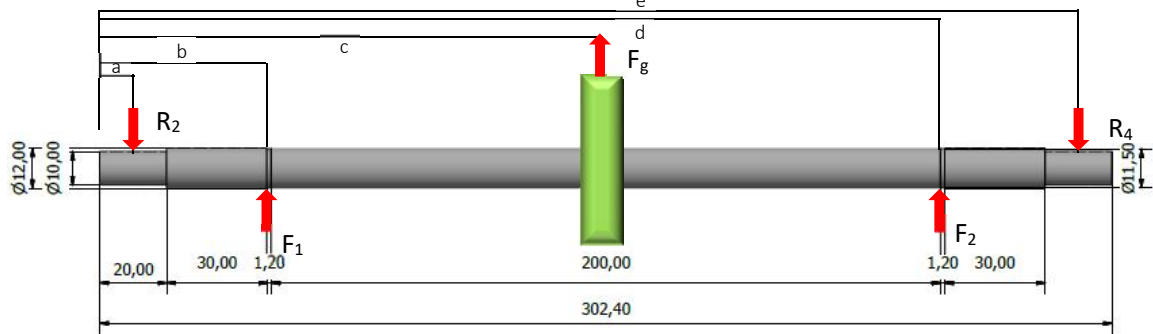
Nombre	Valor	Unidades SI
A	1,5	N
B	1,5	N
R_1	1,7	N
R_2	1,8	N
R_{2x}	1,6	N
R_{2y}	0,47	N
M_{R2y}	0,03	Nm
θ	28	°
β	16	°
b	0,055	m

Fuente: Autores.

Como se puede observar en la Tabla 17, el torque en el instante uno es pequeño (0,03 Nm), por lo tanto, es necesario analizar el comportamiento del sistema en el instante dos, con el fin de determinar qué motor utilizar.

) Eje principal: A continuación, se realizará el análisis del eje principal que sostiene diferentes accesorios y está sometido a varias fuerzas: dos ejercidas por las rótulas R_2 y R_4 , una fuerza radial $F_{g\text{radial}}$ y tangencial $F_{g\text{tangencial}}$ ejercidas por el engrane y dos fuerzas F_1 y F_2 ejercidas por cada una de las columnas de soporte del eje, como se muestra en la Figura 46.

Figura 46. Fuerzas ejercidas en el eje principal en instante 1.



Fuente: Autores.

Donde:

Tabla 21. Distancias de fuerzas ejercidas en eje principal

Distancia	Valor (m)
a	0,01
b	0,0506
c	0,1512
d	0,2518
e	0,2924

Fuente: Autores.

Al realizar el análisis de sumatoria de fuerzas y momentos igual a cero se puede conocer F_1 y F_2 en términos de F_g .

$$\sum M_b = R_2(b - a) + F_g(c - b) + F_2(d - b) - R_4(e - b) = 0$$

$$\sum F = -R_2 + F_1 + F_g + F_2 - R_4 = 0$$

Debido a que se debe resolver las fuerzas de reacción sobre el eje en los planos xz y yz, se debe encontrar las componentes x e y de F_1 y F_2 usando las componentes de F_g . La fuerza tangencial $F_{g\text{tangencial}}$ sobre el diente del engrane se obtiene a partir del torque y el radio de éste.

$$F_{gt_i} = \frac{T}{r}$$

Debido a que el engrane recto tiene un ángulo de presión de 20°, existe una componente radial de fuerza en el diente del engrane $F_{gradial}$, está dada por:

$$F_{gr} = F_{gt_i} \tan(20^\circ)$$

En la Tabla 21 se observa el valor de cada fuerza.

Tabla 22. Fuerzas en eje principal en instante 1.

Nombre	Valor (N)
R ₂	1,70
R _{2x}	1,63
R _{2y}	0,47
R ₄	1,70
R _{4x}	1,63
R _{4y}	0,47
Nombre	Valor (N)
F _{1x}	1,48
F _{1y}	-0,90
F _{2x}	1,48
F _{2y}	-0,90
F _{gradial}	0,31
F _{gtangencial}	0,86

Fuente: Autores.

A continuación, se calcula la carga cortante y el momento flector que actúan sobre el eje usando funciones de singularidad. Para esto, se sustituyen los valores de las fuerzas de reacción para los planos xz y xy. Por último, se combinan las funciones de momento y cortante de cada uno de los planos para obtener la función máxima de momento.

Función de carga:

$$q = -R_2 < x - 0,01 >^{-1} + F_1 < x - 0,0506 >^{-1} + F_g < x - 0,1512 >^{-1} \\ + F_2 < x - 0,2518 >^{-1} - R_4 < x - 0,2924 >^{-1}$$

Función de cortante:

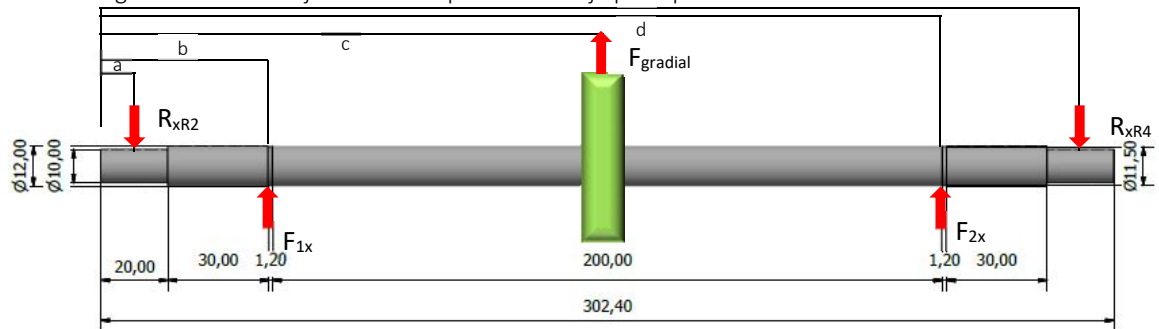
$$V = -R_2 < x - 0,01 >^0 + F_1 < x - 0,0506 >^0 + F_g < x - 0,1512 >^0 + F_2 < x - 0,2518 >^0 - R_4 < x - 0,2924 >^0$$

Función de momento:

$$M = -R_2 < x - 0,01 >^1 + F_1 < x - 0,0506 >^1 + F_g < x - 0,1512 >^1 + F_2 < x - 0,2518 >^1 - R_4 < x - 0,2924 >^1$$

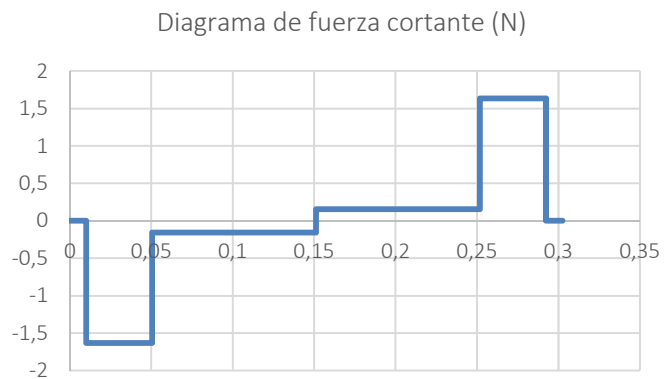
Plano xz:

Figura 47. Fuerzas ejercidas en el plano xz del eje principal en instante 1.



Fuente: Autores.

Gráfica 7. Diagrama de fuerza cortante en plano xz del eje principal en instante 1



Fuente: Autores.

Diagrama de momento flector (Nm)

Este diagrama de momento flector (Nm) muestra la distribución del momento a lo largo de una viga de 0,4 m de longitud. El eje horizontal representa la longitud en metros, con marcas en 0, 0,1, 0,2, 0,3 y 0,4. El eje vertical representa el momento en Nm, con marcas en -1, -0,5, 0, 0,5 y 1. La curva azul indica que el momento es mayoritariamente negativo, alcanzando un valor mínimo de aproximadamente -0,1 Nm entre 0,15 m y 0,25 m, y valores cercanos a 0 Nm en los extremos (0 m y 0,4 m).

Longitud (m)	Momento flector (Nm)
0,0	0,0
0,1	-0,05
0,2	-0,1
0,3	-0,05
0,4	0,0

Plano yz

Diagrama de un eje de transmisión con sus dimensiones y fuerzas:

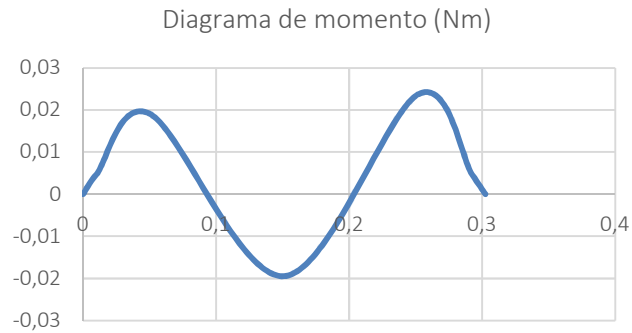
- Longitud total: 302,40
- Distancias entre puntos de apoyo y carga:
 - a = 20,00
 - b = 30,00
 - c = 200,00
 - d = 1,20
 - e = 30,00
- Diámetros:
 - Ø12,00
 - Ø10,00
 - Ø11,50
- Fuerzas y momentos:
 - M_{yR2}
 - R_{yR2}
 - F_{1y}
 - $F_{gtangencial}$
 - F_{2y}
 - R_{yR4}

Diagrama de fuerza cortante (N)

Longitud (m)	Fuerza cortante (N)
0,00 - 0,05	0
0,05 - 0,15	0,45
0,15 - 0,25	-0,45
0,25 - 0,30	0,45
0,30 - 0,35	-0,45
0,35 - 0,40	0

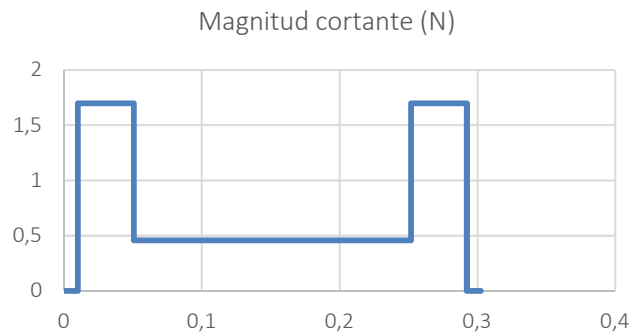
72

Gráfica 10. Diagrama de momento flector en plano yz del eje principal en instante 1



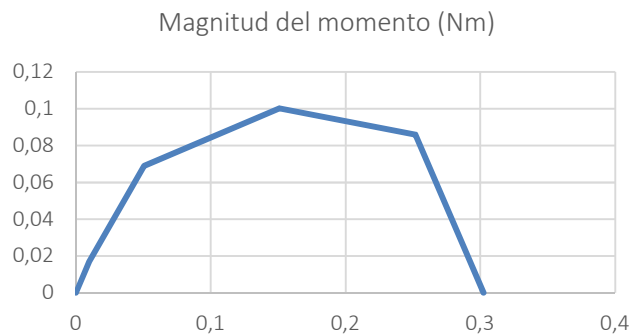
Fuente: Autores.

Gráfica 11. Diagrama magnitud cortante del eje principal en instante 1



Fuente: Autores.

Gráfica 12. Magnitud del momento del eje principal en instante 1



Fuente: Autores.

El momento máximo en el eje principal en el instante uno ocurre en donde está ubicado el engrane y es igual a 0,1 Nm.

4.2.2.2 Instante Dos

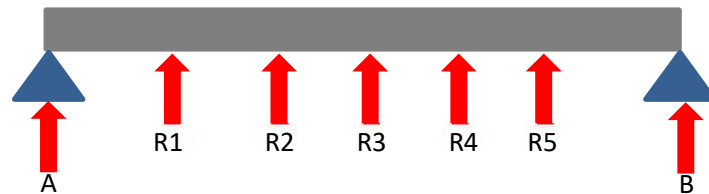
) Placa para sensores: En el instante dos, las fuerzas ejercidas sobre la placa equivalen a la magnitud de la fuerza con la que entran los sensores en el suelo en el peor de los casos, donde la magnitud es igual a 49 N, si la fuerza ejercida por el suelo es mayor, los sensores no podrán penetrarlo. Los diagramas de fuerza cortante, momento flector, desplazamiento y deflexión se encuentran en el anexo C.

Tabla 23. Fuerzas en placa para sensores en instante 2

Nombre	Fuerza (N)	Distancia (m)
A	-123,37	0
R1	49	0,0792
R2	49	0,1097
R3	49	0,1402
R4	49	0,1707
R5	49	0,2012
B	-121,63	0,2824

Fuente: Autores.

Figura 49. Diagrama de fuerzas sobre la placa para sensores en instante 2



Fuente: Autores.

Ecuación de carga

$$q = A(x)^{-1} + R1 < x - 0,0792 >^{-1} + R2 < x - 0,1097 >^{-1} + R3 < x - 0,1402 >^{-1} + R4 < x - 0,1707 >^{-1} + R5 < x - 0,2012 >^{-1} + B < x - 0,2824 >^{-1}$$

Cortante

$$V = A + R1 < x - 0,0792 >^0 + R2 < x - 0,1097 >^0 + R3 < x - 0,1402 >^0 + R4 < x - 0,1707 >^0 + R5 < x - 0,2012 >^0 + B < x - 0,2824 >^0$$

Momento

$$M = A + R1 < x - 0,0792 > + R2 < x - 0,1097 > + R3 < x - 0,1402 > + R4 < x - 0,1707 > + R5 < x - 0,2012 > + B < x - 0,2824 >$$

Pendiente

$$\theta = \frac{1}{2E} (Ax^2 - R1 < x - 0,0792 >^2 - R2 < x - 0,1097 >^2 - R3 < x - 0,1402 >^2 - R4 < x - 0,1707 >^2 - R5 < x - 0,2012 >^2 + B < x - 0,2824 >^2 + C_1)$$

Donde C_1 es igual a 2,22.

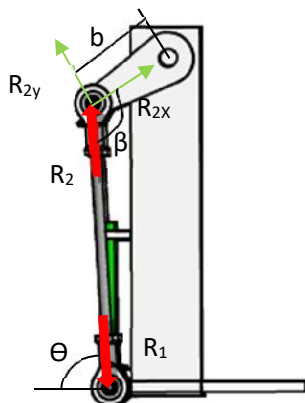
Deflexión

$$y = \frac{1}{E} \left(\frac{A}{6} x^3 - \frac{R1}{6} < x - 0,0792 >^3 - \frac{R2}{6} < x - 0,1097 >^3 - \frac{R3}{6} < x - 0,1402 >^3 - \frac{R4}{6} < x - 0,1707 >^3 - \frac{R5}{6} < x - 0,2012 >^3 + \frac{B}{6} < x - 0,2824 >^3 + C_1 x + C_2 \right)$$

Donde C_2 es igual a 0.

) Rótulas y eje roscado: Para el análisis del instante 2 se utilizan las fuerzas A y B halladas anteriormente para encontrar R_1 y R_2 . Se asume A y B como 246 N y se realiza el mismo análisis presentado en el numeral 4.2.2.1 y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 24.

Figura 50. Fuerzas en rótulas y eje roscado en instante 2.



Fuente: Autores.

Tabla 24. Variables del análisis de rótula y eje roscado en instante 2.

Nombre	Valor	Unidades SI
A	125,0	N
B	125,0	N
R_1	125,2	N
R_2	125,2	N
R_{2x}	-56,8	N
R_{2y}	111,6	N
$M_{R_{2y}}$	6,1	Nm
θ	87,0	°
β	117,0	°
b	0,1	m

Fuente: Autores.

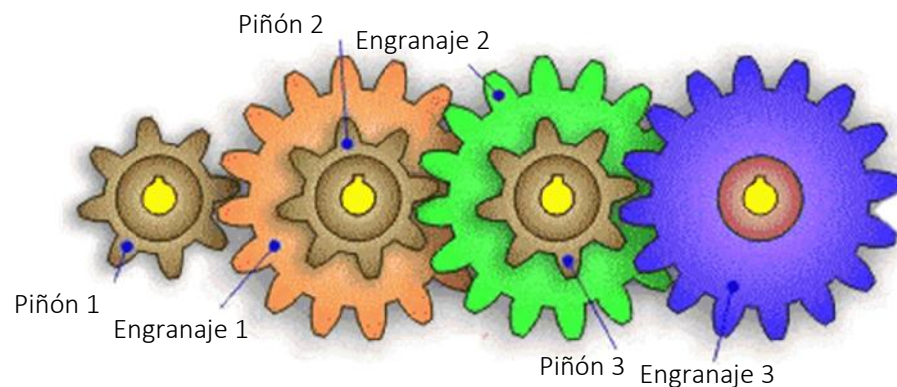
) Tren de engranajes: Debido a que el torque en el instante dos es mayor que en el instante uno, es necesario diseñar un tren de engranajes para obtener un torque de 6,14 Nm, siendo la relación de transmisión con el torque de entrada del motor igual a 32:1.

Se diseña un tren de engranes de tres etapas con una relación de transmisión 37:1, donde los piñones tienen 18 dientes y un diámetro de 20 mm y los engranajes tienen un 58 dientes y 60 mm de diámetro y el ancho de cara F es de 5 mm con un ángulo de presión de 20°. A continuación, se verificará que este diseño cuente con un factor de seguridad contra la falla por flexión mayor a uno.

En primer lugar, se halla la razón del engrane m_G que debe ser mayor a 1 y es igual a la razón entre el número de dientes del engrane N_g y el número de dientes del piñón N_p .

$$m_G = \frac{N_g}{N_p}$$

Figura 51. Tren de engranajes



Recuperado de:

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_eng_tren.htm y editado por autor

El torque τ en cada una de las etapas es igual al torque $\tau_{entrada}$ a la etapa por la razón del engrane:

$$\tau = \tau_e * m_{G1}$$

El módulo m es igual a la razón entre diámetro de paso del engranaje en milímetros y su número de dientes.

$$m = \frac{d}{N}$$

El paso diametral p_d es recíproco al módulo, siendo este igual a:

$$p_d = \frac{N}{d}$$

Para determinar el valor de la resistencia a la fatiga por flexión sin corregir S_{fb}' de los componentes del tren de engranes es necesario conocer la dureza Brinell del material del que están fabricados.

$$S_f' = 6235 + 174H - 0,126HB^2$$

Los piñones y engranajes utilizados están fabricados en poliacetal, cuya dureza Brinell es igual a 155 HB, por lo tanto, S_{fb}' es igual a 30177,5 MPa.

Para hallar el factor de seguridad de los piñones y engranes se deben tener en cuenta varios factores K, en los cuales se tienen en cuenta varias condiciones como la confiabilidad, temperatura, aplicación, etc. A continuación, se explicará cómo se determinó cada uno de estos valores.

-) Factor dinámico K_v
La velocidad en la línea de paso es igual a:

$$V_t = \frac{d}{2} \omega$$

Debido a que la velocidad en la línea de paso es 0,04 m/s el índice de calidad $Q_v \leq 5$, por lo tanto, el factor dinámico K_v del engrane es:

$$K_v = \frac{50}{50 + \sqrt{V_t}}$$

Obteniendo como resultado K_v igual a 0,996.

-) El factor de vida K_L se toma como 1 para mil ciclos de carga.
-) El factor de temperatura K_T se toma como 1 porque no se utilizarán lubricantes sobre los engranajes con temperaturas mayores a 250°F.
-) Debido a que se desea un 99% de confiabilidad en los cálculos se utiliza el factor de confiabilidad K_R igual a 1.
-) La aplicación del factor K_A se toma como 1 porque la máquina impulsora, que en este caso es un motor eléctrico, es uniforme, así como el tren de engranajes, que es la máquina impulsada.
-) El factor de distribución de carga K_m es igual a 1,6 porque el ancho de cara es igual a 50mm.
-) Se recomienda utilizar un factor de tamaño K_s igual a 1 a menos de que se requiera elevar su valor por condiciones específicas (44).
-) El factor de flexión de aro K_B es igual a 1 porque los engranajes son de disco sólido.
-) El factor de engrane loco K_l es igual a 1 porque no se utilizan engranes locos.
-) El factor geométrico de flexión J de resistencia a la flexión está definido en la AGMA 908-B89 para piñones con un ángulo de presión de 20° (45) y 18 dientes como 0,27 y para engranajes con 58 dientes como 0,26.

El factor de seguridad contra fallas a flexión se describe como la resistencia a la flexión corregida S_{fb} comparada con el esfuerzo de flexión σ_b :

$$N_b = \frac{S_f}{\sigma_b}$$

Donde la resistencia a la flexión corregida S_{fb} se define como:

$$S_f = \frac{K_L S_{fb'}}{K_T K_R}$$

Y el esfuerzo de flexión σ_b es:

$$\sigma_b = \frac{W_t p_d}{F} \frac{K_a K_m}{K_v} K_s K_B K_I$$

En la Tabla 25 se observan los resultados obtenidos del factor de seguridad contra fallas a flexión para cada uno de los piñones y engranajes, donde todos son mayores que 1, por lo tanto, es viable utilizar el tren de engranajes para transmitir el torque requerido al eje en el instante 2.

Tabla 25 . Factor de seguridad para piñones y engranajes.

Variable	Símbolo	Piñón 1	Engranaje 1	Piñón 2	Engranaje 2	Piñón 3	Engrane 3
Número de dientes	N	18	58	18	58	18	58
Diámetro de paso (m)	d	0,020	0,060	0,018	0,060	0,018	0,060
Relación de transmisión Ng/Np	m _G	3,22		3,22		3,22	
Torque (Nm)	τ	0,19	0,60	0,60	1,94	1,94	6,27
Factor de seguridad flexión	N _b	15,05	12,56	3,78	3,90	1,17	1,21

Fuente: Autores.

J Eje principal: Para el análisis de eje principal el mismo procedimiento que en el numeral 4.2.2.1 sin embargo, las magnitudes de las fuerzas sobre el eje cambian. En la Tabla 26 se pueden apreciar.

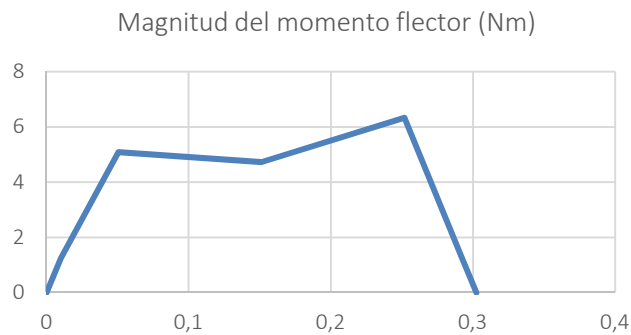
Tabla 26. Fuerzas en el eje principal en instante 2.

Fuerzas en eje	
Nombre	Valor (N)
R_2	125,19
R_{2x}	-56,84
R_{2y}	111,55
R_4	125,19
R_{4x}	-56,84
R_{4y}	111,55
F_{1x}	-94,05
F_{1y}	-213,80
F_{2x}	-94,05
F_{2y}	-213,80
F_{gradial}	74,43
$F_{\text{gtangencial}}$	204,51

Fuente: Autores.

Al analiza las reacciones de las fuerzas en los planos xz y xy del eje principal en el instante dos, se obtiene la Gráfica de magnitud del momento flector (Gráfica 13), en la que se puede observar que el punto máximo de la magnitud del momento flector se presenta en la posición de F2, donde el diámetro del eje es de 11,5 mm. Por lo tanto, se hallará el factor de seguridad en este punto crítico de eje.

Gráfica 13. Diagrama de magnitud del momento flector del eje principal en instante 2.



Fuente: Autores.

El factor de seguridad N_f está dado por:

$$N_f = \frac{2\pi S_f S_u}{S_u \sqrt{\frac{3K_f^2 T_a^2 + 4K_f^2 M_a^2}{4}} + S_f \sqrt{\frac{3K_f^2 T_m^2 + 4K_f^2 M_m^2}{4}}}$$

Donde el momento alternante M_a y medio M_m están definidos como:

$$M_m = \frac{M_m + M_m}{2}$$

$$M_a = \frac{M_m - M_m}{2}$$

El momento máximo y mínimo se pueden observar en la Gráfica 28 (anexo C). El torque medio T_m y el alternante T_a se definen como:

$$T_m = \frac{T_m + T_m}{2}$$

$$T_a = \frac{T_m - T_m}{2}$$

Donde el torque máximo será 6,14 Nm y el torque mínimo será 0,026 Nm.

La resistencia última a la tensión S_{ut} (Tabla 27) está dada por las propiedades mecánicas del material del que está fabricado el eje, el cual es duraluminio.

Tabla 27. Propiedades mecánicas del eje principal

Eje principal		
Propiedades mecánicas del duraluminio		
Variable	Símbolo	Valor
Módulo de elasticidad	E (GPa)	120,7
Módulo de rigidez	G (GPa)	44,7
Razón de Poisson	ν	0,35
Densidad del peso	γ (kg/m ³)	8857,57
gravedad específica		8,9
Resistencia a la fluencia por tensión	S_y (MPa)	103
Resistencia última a la tensión	S_{ut} (MPa)	228
Elongación de 2 in	%	16
Dureza Brinell	HB	60

Eje principal		
Propiedades mecánicas del duraluminio		
Resistencia del material en 10^3 ciclos	S_m flexión	205,2
	S_m carga axial	171

Fuente: Autores.

Para conocer la resistencia a la fatiga S_f del material hay que tener en cuenta diferentes factores, tales como: Factor de carga, tamaño, acabado superficial, temperatura, confiabilidad y resistencia a la fatiga sin corregir.

$$S_f = C_C \quad C_{ta} \quad C_{no} \quad C_S \quad C_{te} \quad C_C \quad S_{fr}$$

Debido a que la carga en el eje es a flexión y a torsión el factor de carga es igual a 1, así como el factor de superficie y el de temperatura, ya que la pieza no estará expuesta a temperaturas mayores de 450°C. Debido a que el diámetro del eje es igual a 12mm, el $C_{tamaño}$ es:

$$C_{ta} \quad no = 1,189d^{-0,0}$$

Se establece un porcentaje de confiabilidad igual a 99%, por lo que el factor de confiabilidad es igual a 0,814. La resistencia a la fatiga de los aluminios es igual a:

$$S_{f'} = 0,4S_u$$

Al reemplazar los valores anteriormente mencionados, se tiene que la resistencia a la fatiga S_f del eje es igual a 136,12 MPa.

Se le conoce como muesca del material q a la sensibilidad de éste a las diferentes concentraciones de esfuerzos y se define como:

$$q = \frac{1}{1 + \left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}} \right)}$$

Donde la constante de Neuber para aluminio recocido con un S_{ut} igual a 33 kpsi es $\sqrt{a}$ es 0,163 in^{0,5} a la flexión y 0,111 in^{0,5} a la torsión (44) con radio igual a 0,2 in. Por lo tanto, se obtiene la sensibilidad a la muesca del material a la flexión, utilizada para hallar el factor de concentración de esfuerzos por fatiga K_f , y q a la torsión se utiliza para determinar la concentración de esfuerzos de torsión por fatiga K_{fs} y K_{fsm} .

$$K_f = K_m = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = K_{fs} = 1 + q(K_{te} - 1)$$

Donde el factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t a flexión, se ve afectado por el diámetro de la muesca, así como el factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} a torsión. Siendo:

$$K_t = A \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad K_{ts} = A \left(\frac{r}{d} \right)^b$$

Donde A y b son constantes que dependen del diámetro del eje principal comparado con el radio de la muesca. Para K_t , $A=0,988$ y $b=-0,233$; para K_{ts} , $A=0,945$ y $b=-0,16$.

A partir de las ecuaciones mostradas se determina que el factor de seguridad (Tabla 28) en el momento más crítico es 2,51 por lo tanto, el eje puede soportar las diferentes cargas a las que estará sometido.

Tabla 28. Factor de seguridad en el eje principal

Símbolo	Valor
N_f	2,51
d	0,0115 m
k_f	1,12
M_a	5,14 Nm
k_{fs}	1,04
T_a	3,05 Nm
S_f	136,12 MPa
K_{fm}	1,12
M_m	0,50 Nm
K_{fsm}	1,05
T_m	3,08 Nm
S_{ut}	228 MPa

Fuente: Autores.

4.3 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para seleccionar el material ideal de los componentes de la estructura, se determinan las propiedades más relevantes de los materiales.

4.3.1 Método de los factores ponderados

Para el diseño y construcción de la estructura del sistema de instrumentación, se utiliza el método de los factores ponderados que consiste en realizar un análisis cuantitativo en el que se comparan entre sí las diferentes alternativas de material para determinar las opciones válidas. (46)

Los pasos del método de factores ponderados se describen a continuación (46):

1. Determinar una relación de los factores relevantes.
2. Asignar un peso a cada factor que refleje su importancia relativa.
3. Fijar una escala a cada factor. Ejemplo: 0-1, 1-10 ó 1-100 puntos.
4. Multiplicar la puntuación por los pesos para cada factor y obtener el total para cada alternativa.

4.3.1.1 Factores relevantes

Para encontrar el material ideal para los componentes de la estructura, se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Fuerte: Rígido
- Peso: Ligero
- Resistencia mecánica
- Resistencia a la corrosión y al desgaste
- Disponibilidad del material
- Costos

En la Tabla 29 se asigna el peso a cada factor según el grado de relevancia de este, teniendo en cuenta que (1) es el más relevante, y (0) es el menos relevante:

Tabla 29. Peso de los factores

FACTORES	PESO
Fuerte, rígido	0.4
Resistencia mecánica	0.5
Disponibilidad del material	0.6
Resistencia a corrosión y desgaste	0.7
Peso	0.8
Costos	0.9

Fuente: Autores.

4.3.1.2 Alternativas

Para el diseño y construcción del sistema de instrumentación, se propusieron los materiales más comunes para este tipo de aplicaciones como lo son:

- J Alternativa 1. Aluminio: Elemento químico muy común en la naturaleza, su símbolo es Al, se caracteriza por ser un metal plateado ligero, maleable, dúctil, conductor eléctrico y térmico, en la composición de las aleaciones ligeras (47).
- J Alternativa 2. Duraluminio: Es un conjunto de aleaciones de aluminio con cobre, manganeso, magnesio y silicio. Pertenecen a la familia de las aleaciones aluminio-cobre (48).
- J Alternativa 3. Acero: Es un metal que se deriva de la aleación entre el hierro y el carbono. Se caracteriza por su resistencia. (49).

- J Alternativa 4. PLA: El ácido poli-láctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Es un material altamente versátil, que se fabrica 100% a partir de recursos renovables, como son el maíz, remolacha, trigo y otros productos ricos en almidón (50). Se utiliza ampliamente en la impresión 3D.
- J Alternativa 5. ABS: El Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS es un plástico muy resistente al impacto, utilizado especialmente en la industria de la automoción (51). Se utiliza ampliamente en la impresión 3D.

A continuación, en Tabla 30 se presentan algunas propiedades físicas y mecánicas de los materiales mencionados anteriormente.

Tabla 30. Propiedades de las alternativas de materiales

PROPIEDADES							
MATERIAL	PESO	RESISTENCIA MECANICA	RESISTENCIA A CORROSION	ELASTICIDAD E, MODULO DE YOUNG (MPa)	RESISTENCIA A LA TORSION	DUREZA	COSTO
ALUMINIO	2.6kg	Regular	SI	70000	0-150	10HB	BAJO
DURALUMINIO	8,75 kg/dm ³	Buena	REGULAR	72000	100-210	15HB	BAJO
ACERO	7850 kg / m ³ x 9,8 m	Buena	SI	210000	---	131HB	ALTO
PLA	--	Baja	REGULAR	3.3 Gpa	48	--	BAJO
ABS	--	baja	REGULAR	2.3 GPa	41-45	--	BAJO

Fuente: Autores.

4.3.1.3 Evaluación de alternativas

Continuando con los pasos del método de ponderación de factores se fija la escala de 1 a 10 para la calificación de cada material donde uno (1) significa que no cumple el criterio y diez (10) que cumple el criterio a satisfacción. En la Tabla 31 se muestra la evaluación de las alternativas:

Tabla 31. Evaluación de alternativas

Criterio	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Fuerte, rígido	0.4	8	8	9	5	6
Resistencia mecánica	0.5	3	6	8	2	2
Disponibilidad del material	0.6	9	9	6	8	8
Resistencia a corrosión y desgaste	0.7	4	5	9	6	6

Peso	0.8	7	7	3	9	9
Costo	0.9	7	9	3	7	7
Sumatoria		24.8	28.8	26	24.8	25.9

Fuente: Autores.

4.3.1.4 Selección del material

Teniendo en cuenta el resultado del producto entre el dato de ponderación y la escala de calificación de cada alternativa se escoge la aleación de aluminio, duraluminio, siendo el material con la mayor puntuación.

4.4 ASPECTOS DESTACADOS EN ESTE CAPÍTULO

-) Se diseñó el eje de la estructura del sistema de instrumentación con un factor de seguridad de 2.5.
-) Se diseñó un tren de engranajes con el fin de aumentar el torque de salida con una relación de transmisión 37:1.
-) Se aseguró que el menor factor de seguridad en el tren de engranajes fuese mayor a uno.

5. RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1 PRUEBAS

En esta sección se pondrá a prueba el dispositivo móvil CAS, realizando el control de movimientos del mismo, así como del sistema de instrumentación por medio de la aplicación Android CAS, la cual fue desarrollada para llevar a cabo este proyecto.

5.1.1 Control de movimiento

El control de movimiento del dispositivo se realiza a través de Bluetooth, por lo tanto, es necesario que el usuario antes de utilizar la aplicación active este tipo de conexión en su dispositivo Android y a continuación lo vincule con el bluetooth del dispositivo CAS, puesto que, si esto no se realiza, la aplicación no podrá conectarse con el dispositivo.

Cuando el usuario entra a la aplicación CAS, debe conectarse por medio del botón “Bluetooth” con el dispositivo móvil CAS para que le aparezcan los controles del carro y del sistema de instrumentación (Figura 32 en el numeral 3.1). En el momento en el que aparece el control de movimientos, el usuario comienza a mover el dispositivo en la dirección deseada para la toma de muestras.

Figura 52. Prueba control de movimiento



Fuente: Autores.

El carro se mueve lento debido al peso que soporta y a la estructura del mismo, sin embargo, se mueve en la dirección que el usuario envía. Uno de los problemas presentes es que en ocasiones el dispositivo móvil tarda en recibir la señal de dirección, esto aplica también para el sistema de instrumentación.

El sistema de instrumentación se mueve hacia arriba o hacia abajo según ordene el usuario, sin embargo, si el suelo ejerce una fuerza mayor a 5 kg en el sensor de compactación, el sistema de

instrumentación se para y no permite que el sistema siga bajando. Debido a que este sistema requiere un torque alto, se sacrificó la velocidad para obtenerlo, por lo tanto, el movimiento es lento.

5.1.2 Sistema de instrumentación

Se realizaron pruebas con tierra orgánica y los resultados que se obtuvieron se presentan en la Figura 52. Se puede observar que el suelo tiene una humedad relativa alta (103,36%), lo que concuerda con el resultado presentado por el sensor de conductividad, que depende de la humedad absoluta del suelo, salinidad y otras variables presentes en el suelo.

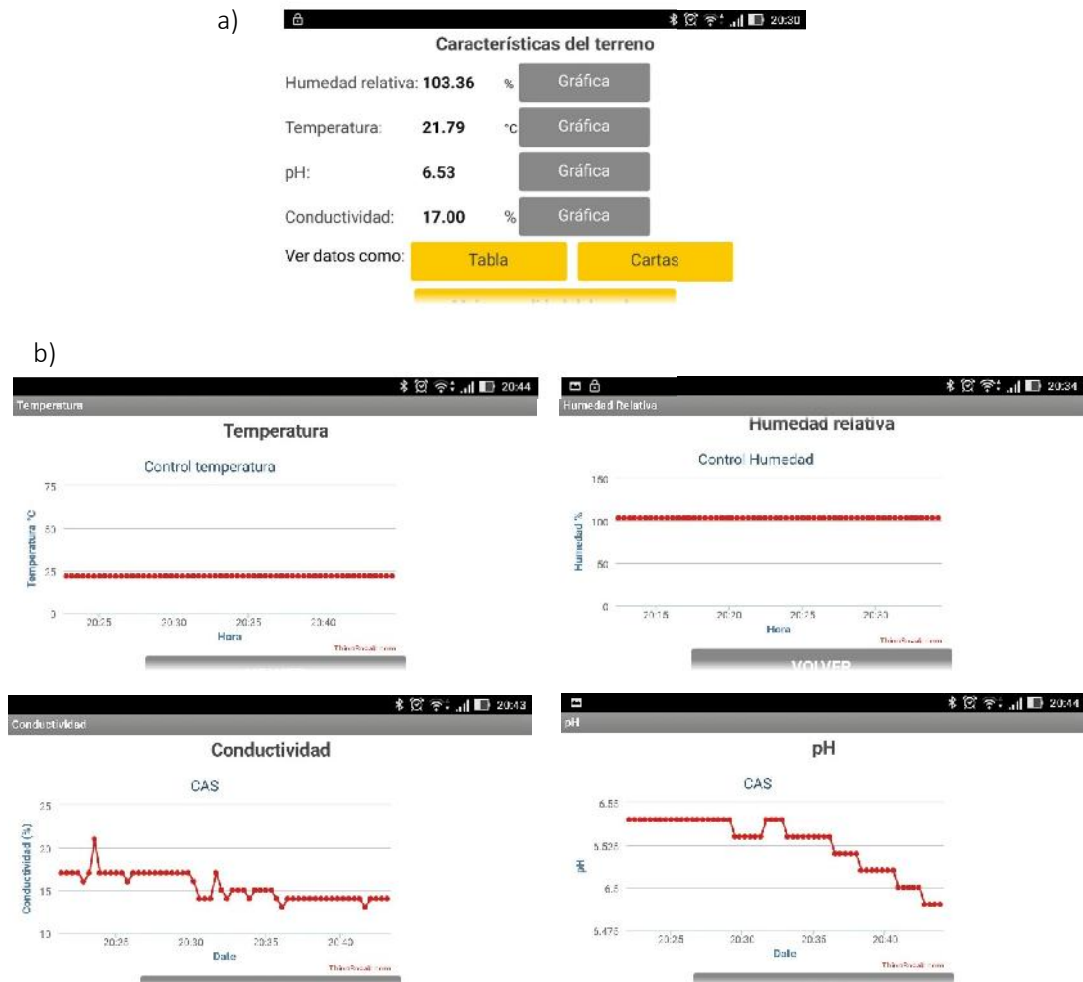
Figura 53. Prueba del sistema de instrumentación



Fuente: Autores.

El sensor de humedad relativa, temperatura y pH son estables en el tiempo, sin embargo, la Gráfica de pH no permite que esto se vea claramente. Por otro lado, el sensor de conductividad suele tener algunos cambios en el porcentaje de conductividad en el tiempo.

Figura 54. Resultados de sensores en aplicación CAS



Fuente: Autores.

Durante la prueba se observó que el sensor de pH debe estar en agua por lo menos 10 minutos antes de realizar las mediciones para lograr calibrarlo, además, el terreno debe estar húmedo para que el sensor pueda obtener lecturas del mismo, ya que, si no lo está, mostrará una lectura de pH igual a cero.

5.1.3 Aplicación CAS

La aplicación funciona correctamente, como se mencionó en los numerales anteriores, permite realizar la conexión entre el dispositivo móvil CAS con el fin de llevar el control de sus movimientos. Por otro lado, permite visualizar los resultados de los sensores en tiempo real y determinar qué fruto es adecuado para sembrar en dicho suelo según sus características

Según las características del suelo presentadas en la Figura 52 se pueden determinar los frutos a sembrar, sólo basta con que el usuario defina las características que presenta el terreno dentro de la Tabla de frutos recomendados, allí debe elegir los valores de: Humedad mínima relativa y máxima del terreno, temperatura mínima y máxima, y pH mínimo y máximo. A medida que el usuario modifica estos valores, la Tabla muestra los diferentes frutos a sembrar. En este caso, se recomienda sembrar guisantes y papa con humedad relativa mínima igual a 83% y máxima de 100%, temperatura mínima de 11,5 °C y máxima de 22,6 °C, y pH mínimo de 5,5 y máximo 7.

Figura 55. Configuración y resultados en tabla de frutos recomendados.



Fuente: Autores

Los parámetros del suelo en el que se realizaron las pruebas son buenos, ya que no se necesitaría realizar ningún tratamiento en específico del mismo, sin embargo, si el usuario desea mejorar alguna de las características del suelo, lo puede hacer entrando en el menú “Mejorar calidad del suelo” en la aplicación (ver Figura 35 en el numeral 3.1).

5.2 RESULTADOS

Se diseñó y construyó el sistema de instrumentación integrado a un dispositivo móvil para realizar la caracterización de suelos agrícolas. Para determinar los parámetros de caracterización de suelos en cultivos orgánicos, se realizó una investigación previa donde se establecieron las variables que afectan de manera directa el rendimiento del suelo, dando como resultado el pH, la salinidad, humedad relativa, temperatura y compactación, lo cual permitió una adecuada selección de la sensórica utilizada para medir dichas variables.

A partir de la selección de los distintos sensores se realizaron varias pruebas con cada uno de ellos con el fin de definir su comportamiento y determinar si eran realmente los apropiados para medir la variable deseada. El conjunto de sensores escogidos fue: SHT10 para medir humedad relativa y temperatura, YL69 para medir conductividad, Sensor 0161 Ph meter para medir pH y un sensor de fuerza piezorresistivo para determinar la compactación del suelo.

Debido a que los sensores deben tener una estructura de apoyo, se diseñó y construyó un sistema de instrumentación capaz de transportar los sensores e ingresarlos a la tierra para tomar las

diferentes mediciones. Para el diseño de este sistema se tuvo en cuenta el peso del material con el que se fabricó, ya que la estructura debía ser liviana y resistente.

El sistema de instrumentación, se escogieron los instrumentos de medición electrónicos según las características de cada uno de ellos, verificando que fueran apropiadas para la aplicación del proyecto. Durante la caracterización de cada uno de los sensores seleccionados, se realizaron pruebas específicas para determinar el comportamiento de estos en diferentes condiciones de la tierra, con el verificar que los datos fueran precisos.

Debido a que estos datos se deben presentar al usuario para que éste pueda tener un control sobre la condición su terreno, se desarrolló una aplicación Android en la cual se puede observar el estado del suelo en tiempo real, así como determinar el fruto apropiado para sembrar y un listado de buenas prácticas para mejorar cada una de las variables medidas del suelo. Otra característica que tiene la aplicación desarrollada es que puede controlar por bluetooth el movimiento del dispositivo móvil y del sistema de instrumentación.

Al realizar las pruebas del dispositivo en campo se concluyó que el dispositivo cumple con el objetivo previsto, el cual se basa en que el usuario pueda conocer el estado de su terreno en tiempo real y esto le permita tomar mejores decisiones acerca del uso y cuidado del mismo.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- J Se recomienda que en proyectos de agricultura de precisión se tenga en cuenta que el usuario no necesariamente está relacionado con términos ingenieriles, por lo tanto, la información entregada debe ser clara y útil.
- J La aplicación Android se desarrolló de tal forma que obtiene el departamento, municipio y fecha en la que se está realizando la caracterización. Esto se realizó con el fin de que en trabajos futuros se pueda hacer un tratamiento de estos datos para conocer el estado del terreno en diferentes zonas de Colombia, así como saber qué se podría cultivar en estos lugares y llegar a tener una predicción del mercado de productos agrícolas.
- J Se recomienda aumentar la cantidad de productos en la base de datos de “frutos recomendados” ya que actualmente cuenta con 30 frutos.
- J Para trabajos futuros se recomienda utilizar un dispositivo móvil más grande, robusto y con ruedas más altas, con el fin de que pueda trabajar con mayor facilidad en mayor cantidad de terrenos.
- J Se recomienda utilizar una batería de alta capacidad, ya que los motores consumen bastante energía eléctrica, por lo que se requiere mínimo una batería de 4000 mAh.

7. CONCLUSIONES

-) Se determinó que los parámetros mínimos para caracterizar el suelo de cultivo son: la humedad relativa, temperatura, pH, salinidad y compactación.
-) Se diseñó y construyó un sistema de instrumentación con el fin de transportar los sensores y permitir la toma de datos directamente en el suelo.
-) Se desarrolló una aplicación Android llamada CAS, la cual permite que el usuario conozca el estado del terreno en tiempo real, controle el movimiento del dispositivo móvil y del sistema de instrumentación, así como definir el fruto apto a sembrar según las características del suelo y proporciona información sobre buenas prácticas para mejorar el pH, humedad relativa, temperatura, salinidad y compactación del suelo.
-) Se integró e implementó un prototipo móvil con el sistema de instrumentación.
-) El dispositivo construido cumple con los objetivos planteados, sin embargo, su funcionamiento podría mejor si se implementa una batería de mayor capacidad y se utiliza un prototipo móvil más robusto.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Perspectiva del sector agropecuario Colombiano. *FINAGRO*. [En línea] Agosto de 2014. [Citado el: 12 de Febrero de 2016.] <https://www.finagro.com.co/sites/default/files/Perspectivas%20Agropecuarias-v5.pdf>.
2. FINAGRO. El momento del Agro. [En línea] [Citado el: 12 de 02 de 2016.] <https://www.finagro.com.co/noticias/el-momento-del-agro>.
3. Perspectiva del sector agropecuario Colombiano. *FINAGRO*. [En línea] [Citado el: 12 de 02 de 2016.] <https://www.finagro.com.co/sites/default/files/Perspectivas%20Agropecuarias-v5.pdf>.
4. DPN. Bases del plan Nacional de Desarrollo 2010-2014: Prosperidad para todos. *Departamento Nacional de Planeación*. [En línea] 2010. <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/PND-2010-2014/Paginas/Plan-Nacional-De-2010-2014.aspx>.
5. OCDE. Revisión de la OCDE de las Políticas Agrícolas: Colombia 2015. *Miniagricultura*. [En línea] 2015. [Citado el: 12 de 02 de 2016.] https://www.minagricultura.gov.co/Reportes/OECD_Review_Agriculture_Colombia_2015_Spanish_Summary.pdf.
6. *Sensores para la caracterización del suelo agrícola usados en agricultura de precisión*. BARREIRO ELORZA, Pilar. 260, Diciembre de 2007, Vida rural, págs. 38-42.
7. FERNÁNDEZ QUINTANA, César. Ciencia y Medio Ambiente - Segundas jornadas científicas sobre medio ambiente del CCMA-CSIC. 2002.
8. *On-the-go soil sensors for precision agriculture*. ADAMCHUK, V. I., y otros. 1, Vol. 44, págs. 187-194.
9. KWEON, G., LUND, E. and MAXTON, C. The ultimate soil survey in one pass: Soil texture, organic matter, pH, elevation, slope, and curvature. [Online] [Cited: Enero 13, 2016.] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.422.9174>.
10. *Proximal soil sensing: global perspective*. ADAMCHUK, V., ALLRED, B. and VISCARRA, Rossel R. 1, 2012, Fast Times: News for the Near Surface Geophysical Sciences, Vol. 17.
11. *Improved characterization of fine-texture soils using on-ground GPR full-waveform inversion*. BUSCH, S., VAN DER KRUK, J. and VEREECKEN, H. 7, s.l. : IEEE, Julio 2014, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, Vol. 52, pp. 3947 - 3958.
12. *A unified full-waveform method for modeling ground penetrating radar and electromagnetic induction data for non-destructive characterization of soil and materials*. LAMBOT, S., et al. s.l. : IEEE, Septiembre 2009, Electromagnetics in Advanced Applications, 2009. ICEAA'09. International Conference on, pp. 1058-1061.
13. *Psammite—A soil characterization system for environmental analysis*. LASKOSKI, G. T. and PICHORIM, S. F. s.l. : IEEE, 2015, OCEANS 2015-Genova , pp. 1-5.
14. *Sensor fusion for precision agriculture*. ADAMCHUK, V.I., et al. 2011, INTECH Open Access Publisher.

15. ROSSEL, R. V., et al. Proximal soil sensing: an effective approach for soil measurements in space and time. [book auth.] Donald L Sparks. *Advances in Agronomy*. 2011, Vol. 113, pp. 243-291.
16. *Caracterización de suelos agrícolas de Brasil con un espectrofotómetro VERIS VIS-NIR*. SANTANA, N., y otros. Madrid : s.n., 2015. VII Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica.
17. *On-the-go soil sensors for precision agriculture*. ADAMCHUK, V. I., et al. 1, Junio 9, 2004, Computers and electronics in agriculture, Vol. 44, pp. 71-91.
18. GRIMES, Craig A., DICKEY, Elizabeth C. and PISHKO, Michael V. Encyclopedia of Sensors. [book auth.] A. Baldi, N. Abramova, A. Bratov C. Jimenez. *ISFET chemical sensors: Fundamentals and applications*. s.l. : American Scientific Publishers.
19. *Aplicación de microsensors de estado sólido a la medida en suelos de cultivo*. JIMENÉZ, Cecilia, ALONSO, Julián y DOMÍNGUEZ, Carlos. 1697-4123, Barcelona, España : RUBES EDITORIAL, 2006.
20. JIMENÉZ, Cecilia. *Sensores químicos tipo ISFET*. Barcelona : s.n., 1993.
21. *On-the-go soil sensors for precision agriculture*. ADAMCHIUK, V. I., et al. 1, Junio 9, 2004, Computers and electronics in agriculture, Vol. 44, pp. 71-91.
22. *A low-power, low-cost soil-moisture sensor using dual-probe*. Nikhil Jorapur, Vinay S. Palaparthi, Shahbaz Sarik, Jobish John, Maryam Shojaei Baghini , G.K. Ananthasuresh. 2015, Sensors and Actuators A: Physical, págs. 108-117.
23. *Polymer-based microsensor for soil moisture measurement*. Jie Liu, Mangilal Agarwal , Kody Varahramyan, Ernest S. Berney IV, Wayne D. Hodo. 2008, Sensors and Actuators B, págs. 599-604.
24. *Use of a triple-sensor fusion system for on-the-go measurement of soil compaction*. NADERI-BOLDAJI, Mojtaba, et al. 2013, Soil & Tillage Research, pp. 44-53.
25. *Development of in-wheel sensor system for accurate measurement*. TAKAYUKI, Shirai y ISHIGAMI, Genya. 2015, Journal of Terramechanics, págs. 51-61.
26. FAO. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea] [Citado el: 12 de Febrero de 2016.] http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sc/soil_compaction.pdf.
27. AgroEs. AgroEs.es. [En línea] [Citado el: 07 de 06 de 2016.] <http://www.agroes.es/agricultura/el-suelo/143-temperatura-del-suelo-agricultura>.
28. Prezi.com. [En línea] 25 de 06 de 2013. [Citado el: 04 de 09 de 2017.] <https://prezi.com/so5ahh73mbiy/importancia-del-ph-en-el-suelo/>.
29. SIGMA ELECTRONICA. [En línea] [Citado el: 08 de 09 de 2017.] <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0161/>.
30. Monografias. [En línea] [Citado el: 11 de 09 de 2017.] <http://www.monografias.com/trabajos82/solucion-tampon/solucion-tampon.shtml>.

31. Max electronica. [En línea] [Citado el: 03 de 05 de 2017.] <http://www.maxelectronica.cl/temperatura-y-humedad/44-sensor-de-humedad-de-suelo-yl-38-y-sonda-yl-69.html>.
32. Art, Edgaras. Arduino and Soil Moisture Sensor YL-69. [En línea] 2015. [Citado el: 01 de 06 de 2016.]
33. www.fao.org. [En línea] [Citado el: 05 de 09 de 2017.] http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf.
34. Lic. Mariano Pineda Abella. ArgentinaInvestiga. [En línea] [Citado el: 09 de 09 de 2017.] http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=nueva_herramienta_para_estimar_la_com_pactacion_de_los_suelos&id=2139.
35. NATIONAL INSTRUMENTS. HIGH LIGTH. [En línea] [Citado el: 19 de 09 de 2017.] http://www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf.
36. personales.unican. [En línea] personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Puente%20de%20Wheatstone.pdf.
37. <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Puente%20de%20Wheatstone.pdf>. personales unican. [En línea] [Citado el: 21 de 09 de 2017.] <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Puente%20de%20Wheatstone.pdf>.
38. arduino.cl. [En línea] [Citado el: 09 de 09 de 2017.] <http://arduino.cl/que-es-arduino/>.
39. aprendiendoarduino.wordpress.com. [En línea] [Citado el: 09 de 09 de 2017.] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/22/que-es-el-hardware-libre/>.
40. Naylamp Mechatronics. [En línea] [Citado el: 10 de 09 de 2017.] http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_conFiguracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html.
41. Diario electronico hoy. [En línea] 16 de 04 de 2016. [Citado el: 11 de 09 de 2017.] <http://www.diarioelectronicohoy.com/blog/el-modulo-esp8266wifi>.
42. Agropecuario, Instituto Colombiano. Listado de predios productores de frutales, hortalizas y hierbas aromáticas registrados en el ICA para exportación en fresco. . [En línea] [Citado el: 20 de Febrero de 2017.] <https://sisfito.ica.gov.co/frutales/lib/reportes/Frutales.php>.
43. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 25 de 08 de 2017.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Eje_\(mec%C3%A1nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Eje_(mec%C3%A1nica)).
44. Norton, Robert L. *Diseño de máquinas. Un enfoque integrado*. Cuarta. s.l. : Pearson Educación, 2011. pág. 888.
45. ASSOCIATION, AMERICAN GEAR MANUFACTURERS. *AGMA 908-B89*. Abril de 1989. Geometry Factors for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth.

46. campusvirtual.ull.es. [En línea] [Citado el: 05 de 09 de 2017.] https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/5075/mod_resource/content/1/Problemas/Met-Local-Ponderado-ejemplo.pdf.
47. Equipo de redacción, Revista educativa MasTiposde.com. www.mastiposde.com. [En línea] 22 de 11 de 2015. [Citado el: 05 de 09 de 2017.] http://www.mastiposde.com/definicion_de_aluminio.html.
48. wikipedia. [En línea] [Citado el: 06 de 09 de 2017.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Duraluminio>.
49. conceptodefinicion.de. [En línea] [Citado el: 05 de 09 de 2017.] <http://conceptodefinicion.de/acero/>.
50. [www.eis.uva.es](http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm). [En línea] [Citado el: 03 de 09 de 2017.] <http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm>.
51. impresoras3d.co. [En línea] [Citado el: 05 de 09 de 2017.] <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102832135-el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas>.
52. Meneses, Luis Carlos. *Libro pepito*. 9ed. s.l. : Unipiloto, 2016. 4737377363-5.
53. Penagos Corp. SA. *Catalogo de trilladoras Apollo*. 9 ed. s.l. : Alfaomega, 2016.
54. FAO. *Fertilidad del suelo*. Conservación de los recursos naturales para la agricultura sostenible.
55. —. *Manejo de la humedad del suelo*.
56. NAVARRO B, Simón y NAVARRO G, Gines. *Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 2003.
57. Art, Edgaras. *Arduino and Soil Moisture Sensor YL-69*. 2015.
58. Teslabem. [En línea] [Citado el: 06 de Junio de 2016.] http://teslabem.com/media/catalog/product/cache/1/image/636x/602f0fa2c1f0d1ba5e241f914e856ff9/s/e/sensor_de_humedad_y_temperatura_terrestre_sht10_alta_resolucion_teslabem.jpg.
59. UPM. [En línea] [Citado el: 07 de 06 de 2016.] <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-4/TEMPERATURA-DEL-SUELO.pdf>.
60. FERNÁNDEZ QUINTANA, César. Agricultura de precisión. *Ciencia y Medio Ambiente - Segundas jornadas científicas sobre medio ambiente del CCMA-CSIC*. 2002, págs. 187-194.
61. *TH-state Fertilizer Recommendations for Corn, Soybeans, Wheat and Alfalfa*. VITOSH, M. L., JHONSON, James W. and MENGEL, David B. s.l. : Michigan State University, The Ohio State University, and Purdue University, 1995, Extension Bulletin E-2567, pp. 1-24.
62. *Soil testing and fertility*. HOEFT, Robert G., R. PECK, Theodore and BOONE, L. V. 2002, Illinois Agronomy Handbook: 2000-2001, pp. 84-124.

63. HAVLIN, J.L, et al. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. s.l. : Prentice Hall, 2005. Vol. 515.
64. *On-the-go soil sensors for precision agriculture*. ADAMCHUK, V.I., et al. Diciembre 6, 2004, Computers and Electronics in Agriculture, pp. 71-91.
65. BONGIONANNI, R., y otros. *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. s.l. : Prociur/IICA., 2006.
66. *Preparación de suelo*. INOSTRAZA, Juan y MÉNDEZ, Patricio. 193, Temuco, Chile : s.n., Noviembre de 2009, Manual de Papa para La Araucanía: Manejo y plantación, págs. 29-57.
67. FAO. Propiedades físicas del suelo. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea] [Citado el: 12 de Febrero de 2016.] <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
68. —. Guía para la descripción de suelos. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea] 2009. [Citado el: 12 de Febrero de 2016.] <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>.
69. —. El manejo y procesos naturales que impactan las propiedades físicas del suelo. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea] [Citado el: 12 de Febrero de 2016.] <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/evaluacion-de-los-indicadores-globales-de-la-salud-del-suelo/salud-del-suelo-fisica/es/>.
70. DOMÈNECH, Xavier. *Química del suelo: Impacto de los contaminantes*. s.l. : Editorial Miraguano, 1995.
71. Universidad de la república de Uruguay. EDAFOLOGIA. *EDAFOLOGIA*. [En línea] 2007. [Citado el: 2 de Febrero de 2016.] <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>.
72. Macro y Micronutrientes. *Slideshare*. [En línea] 27 de 08 de 2014. [Citado el: 25 de Enero de 2016.] http://es.slideshare.net/jacg_108/macro-y-micronutrientes-para-la-planta.
73. KASS, Donald C.L. *Fertilidad de suelos*. Costa rica : Editorial universidad estatal a distancia, 2007.
74. McKEAN, Sheila J. Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. s.l. : Centro Internacional de Agricultura Tropical· CIAT, 1993.
75. PANEQUE, Víctor M., y otros. Manual de técnicas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana, Cuba. : Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), 2010.
76. Veris Technologies. VIS-NIR Spectrophotometer. [En línea] [Citado el: 30 de Enero de 2016.] http://veristech.com/images/VIS-NIR_shank.pdf.
77. LeroyMerlin.es. [En línea] [Citado el: 05 de 09 de 2017.] <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Jardiner%C3%ADa/Cu%C3%A1l-es-la-importancia-del-pH-para-la-agricultura/ta-p/157060>.

78. Colombia, Hanna. Hanna instruments. *Hanna instruments*. [En línea] <http://www.hannacolombia.com/productos/instrumentacion-de-procesos/electrodos-industriales/electrodo-combinado-de-ph-sensor-de-platino-conexion-bnc-5-m>.

ANEXO A. HOJAS DE DATOS TECNICOS

-) Datasheet sensor de humedad y temperatura:
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Sht10>

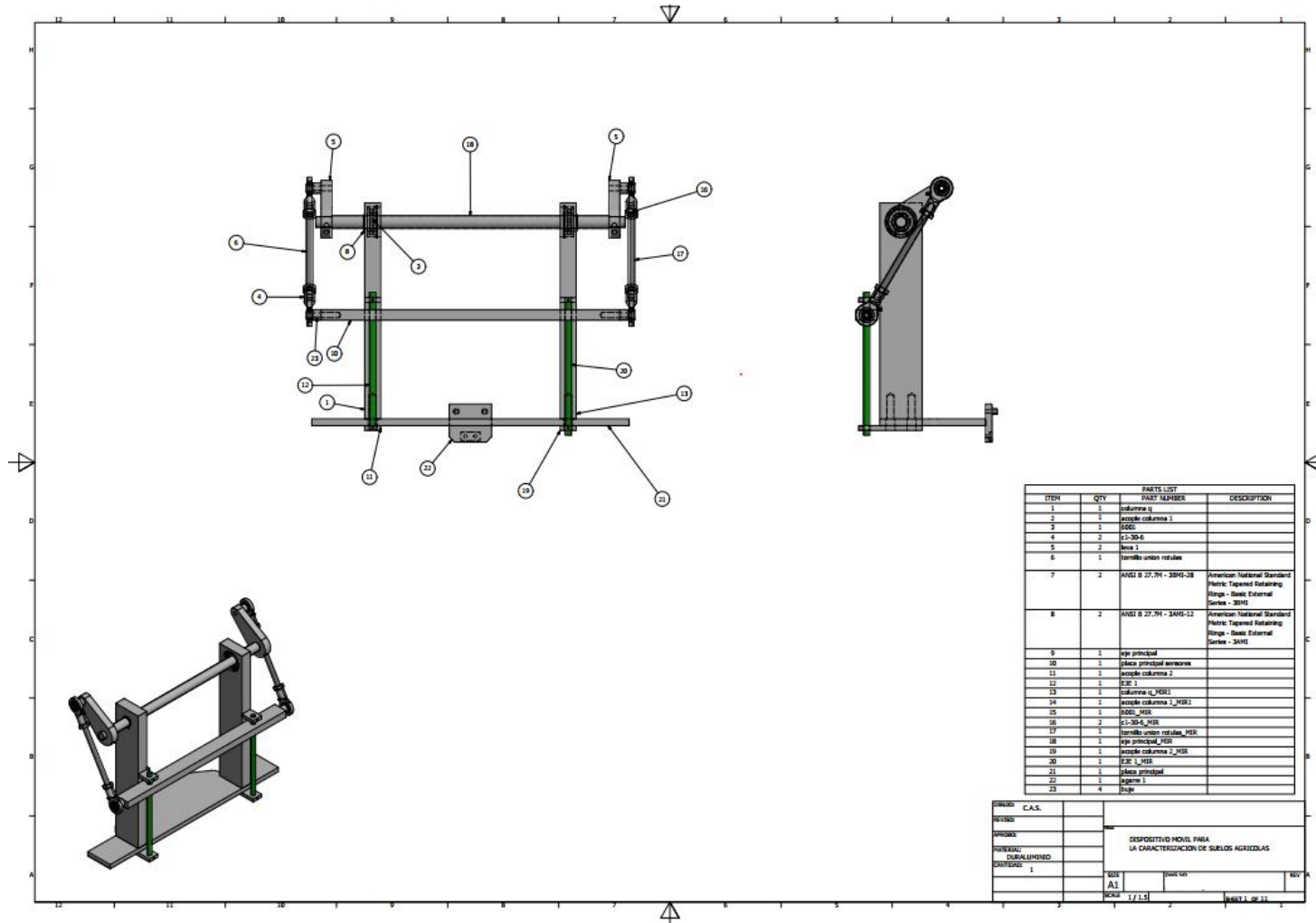
-) Datasheet sensor de salinidad:
<http://www.electronicoscaldas.com/sensores-de-humedad-lluvia-inundacion/461-sensor-de-humedad-en-suelo-yl-69.html>

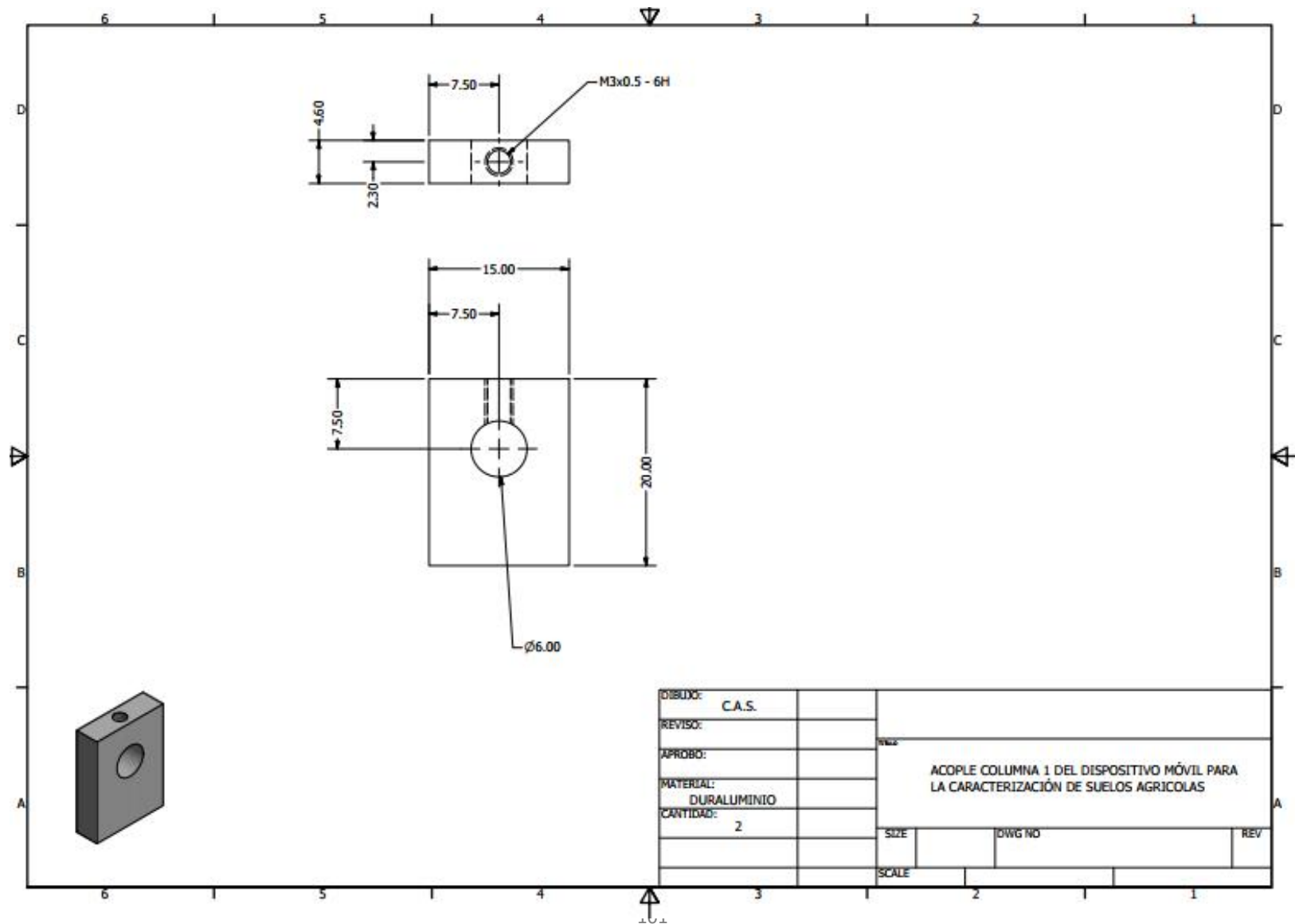
-) Datasheet sensor de compactación:
http://www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf

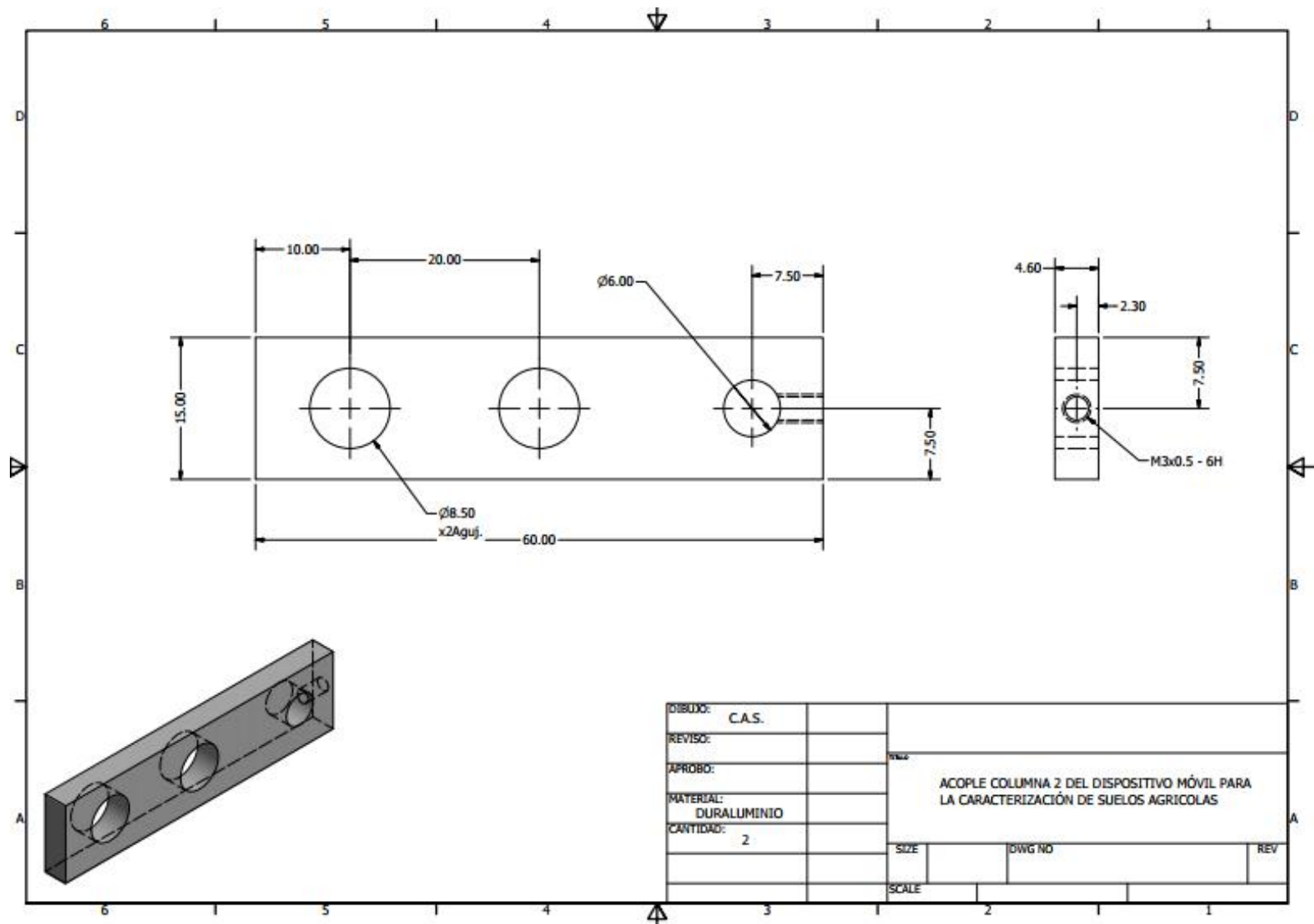
-) Datasheet Modulo Bluetooth:
<https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-05-serial-rs232/>

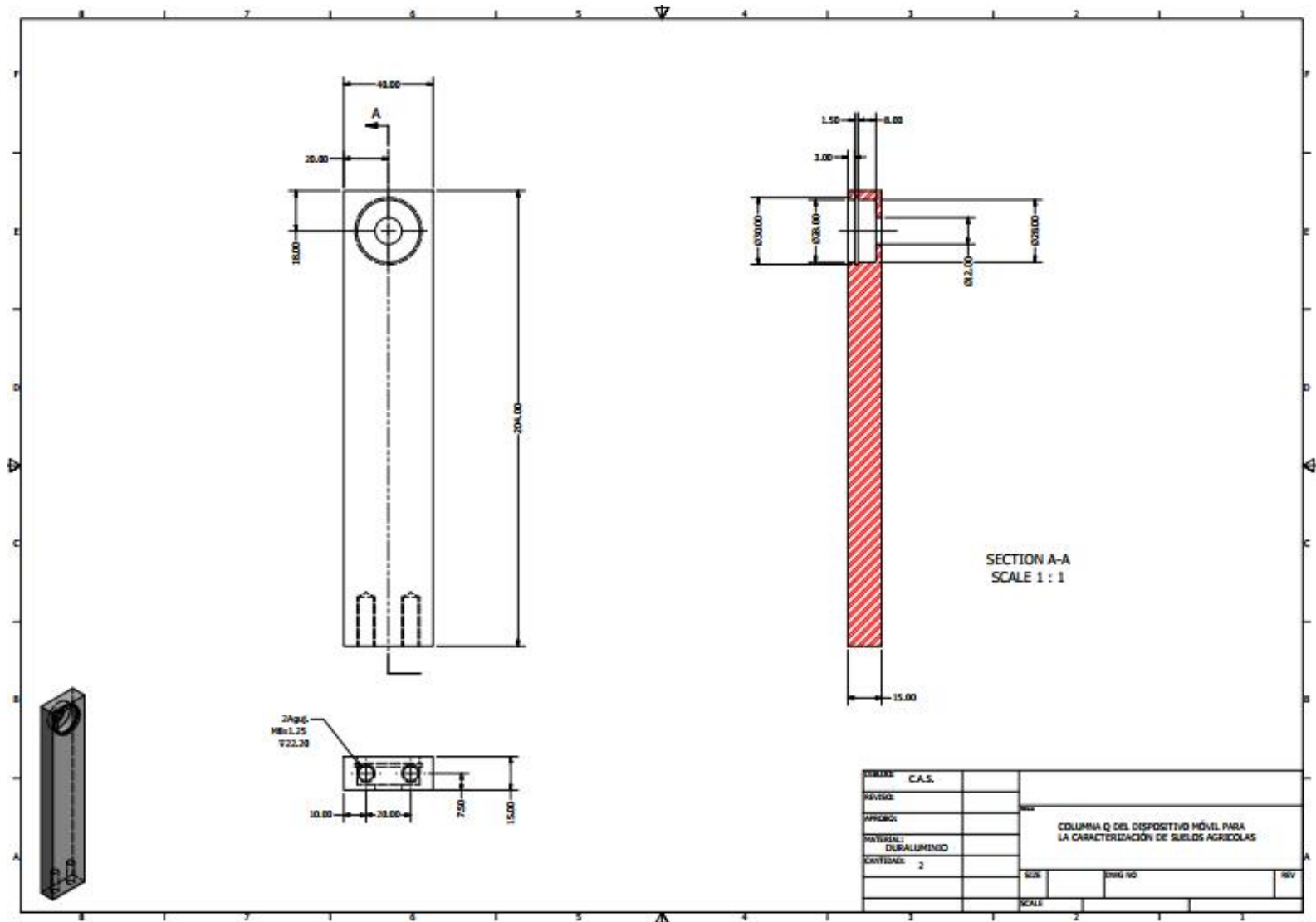
-) Datasheet modulo WIFI:
<http://tdrobotica.co/modulo-wifi-esp8266/350.html>

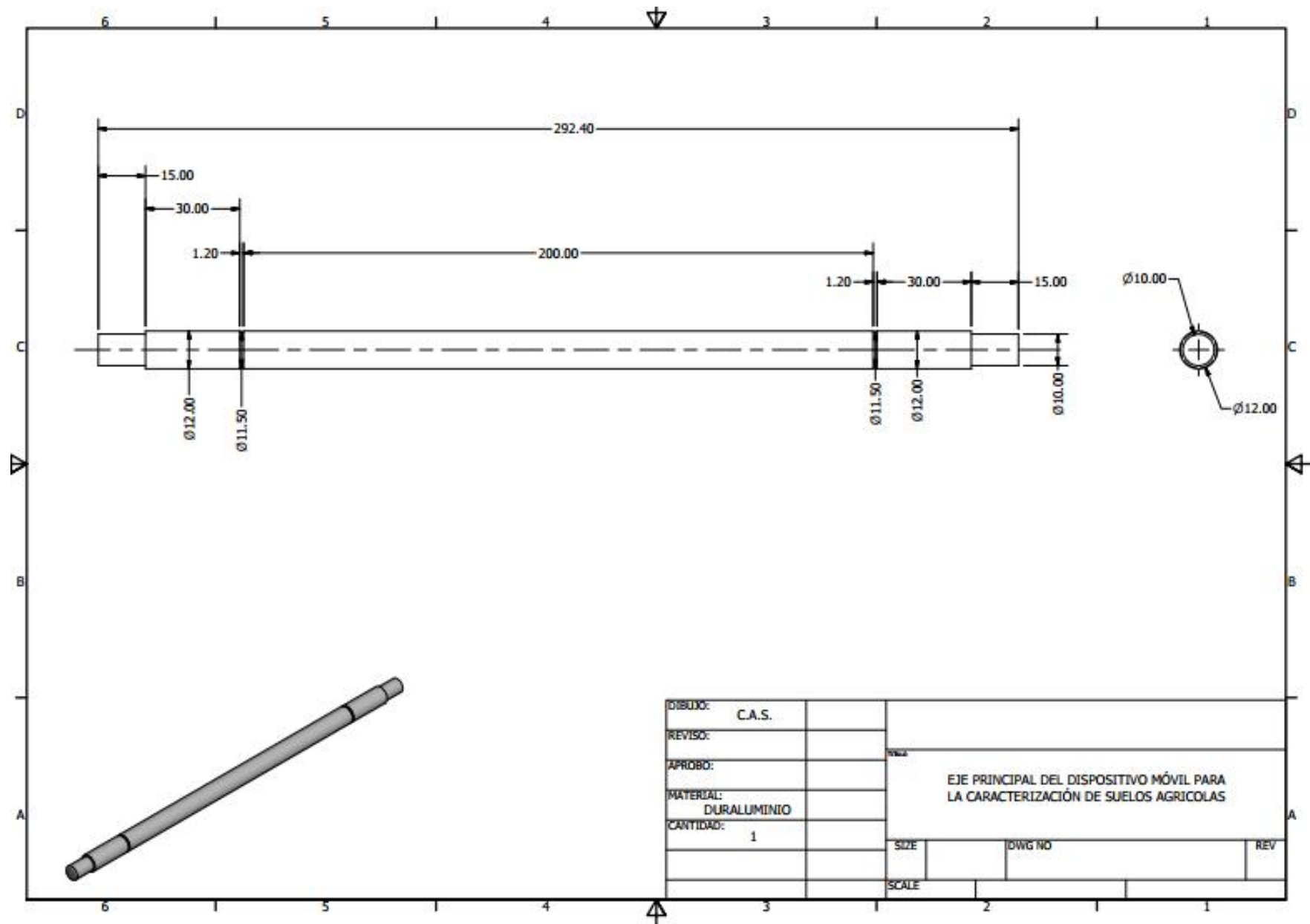
ANEXO B. PLANOS MECÁNICOS

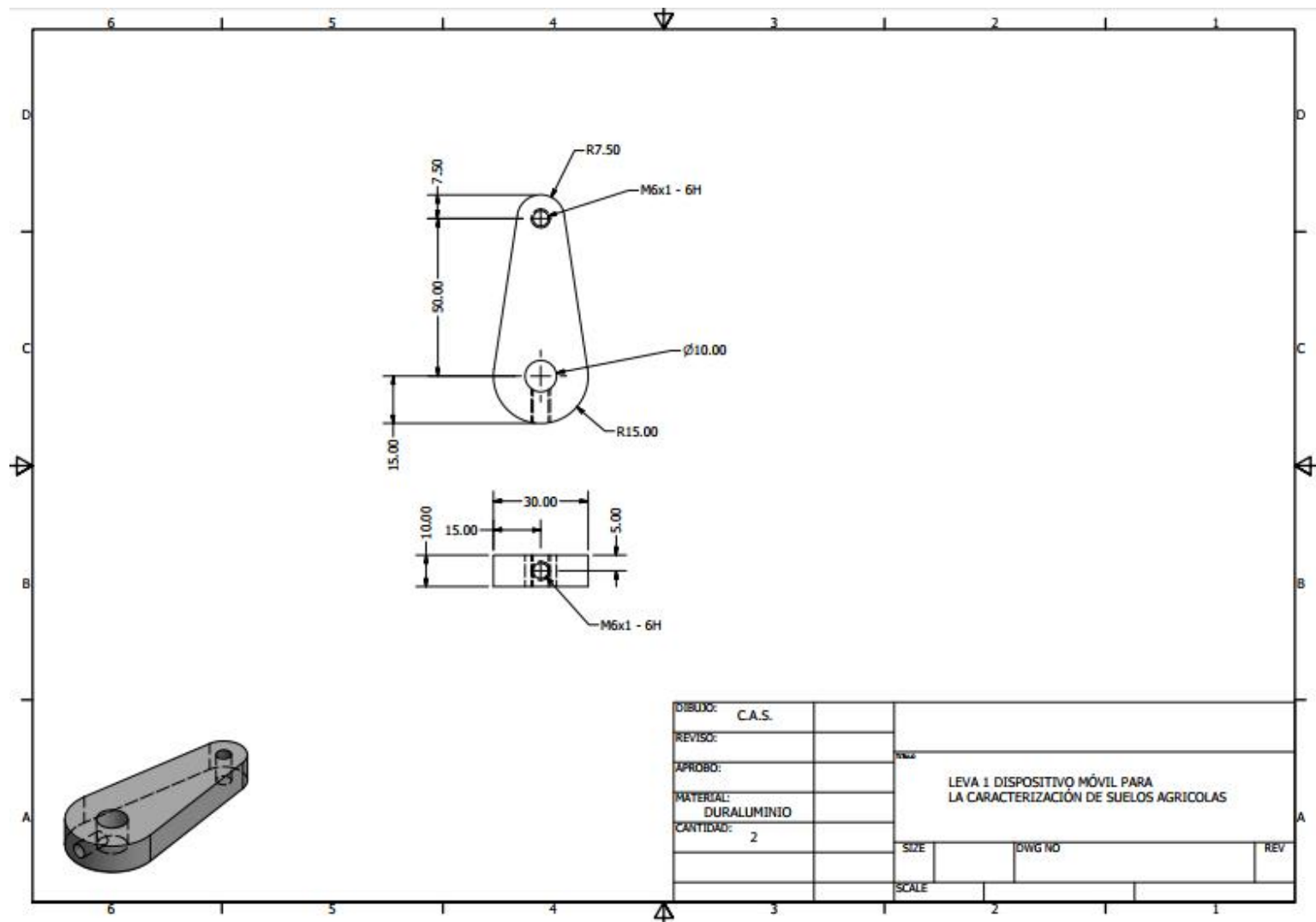


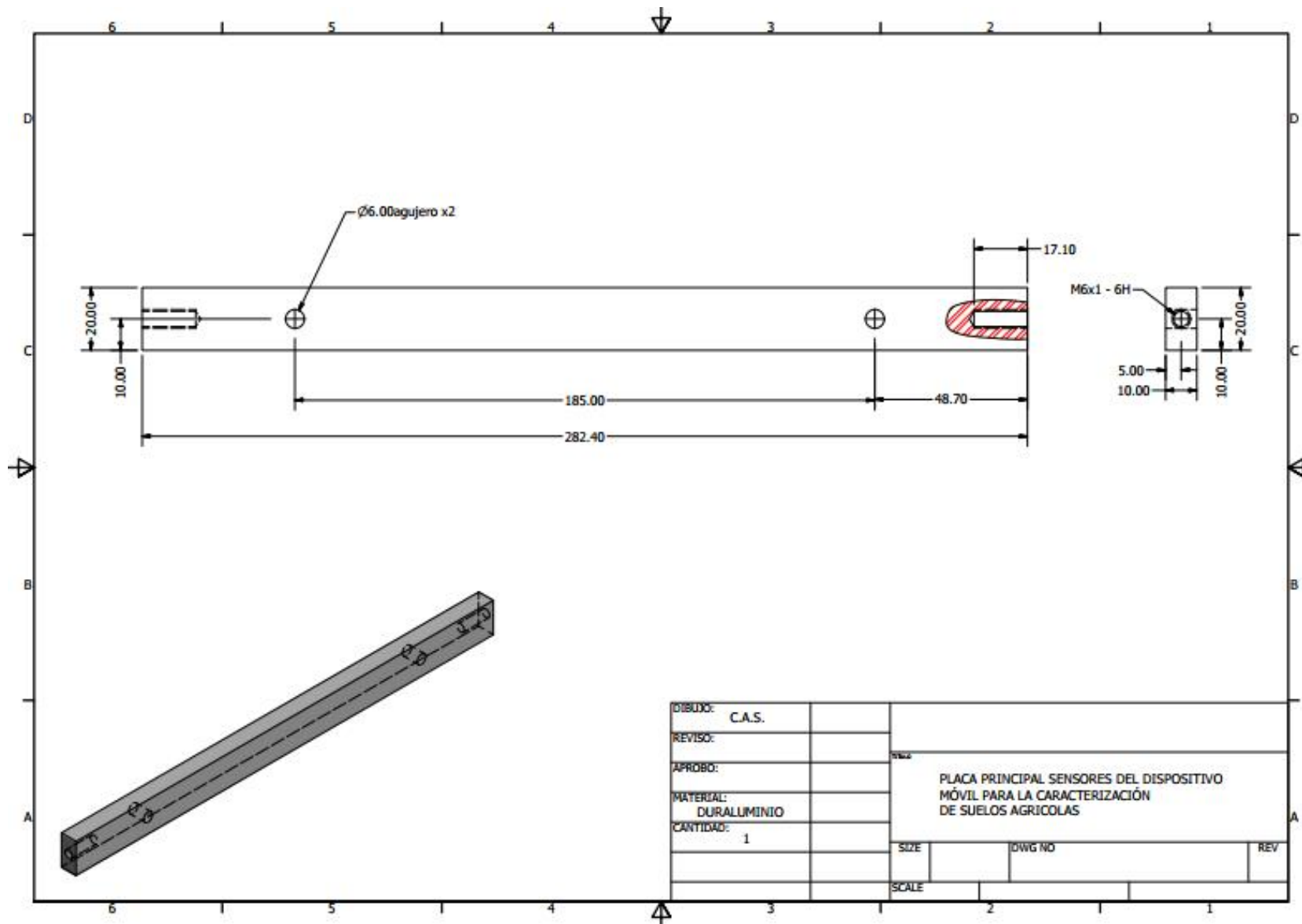


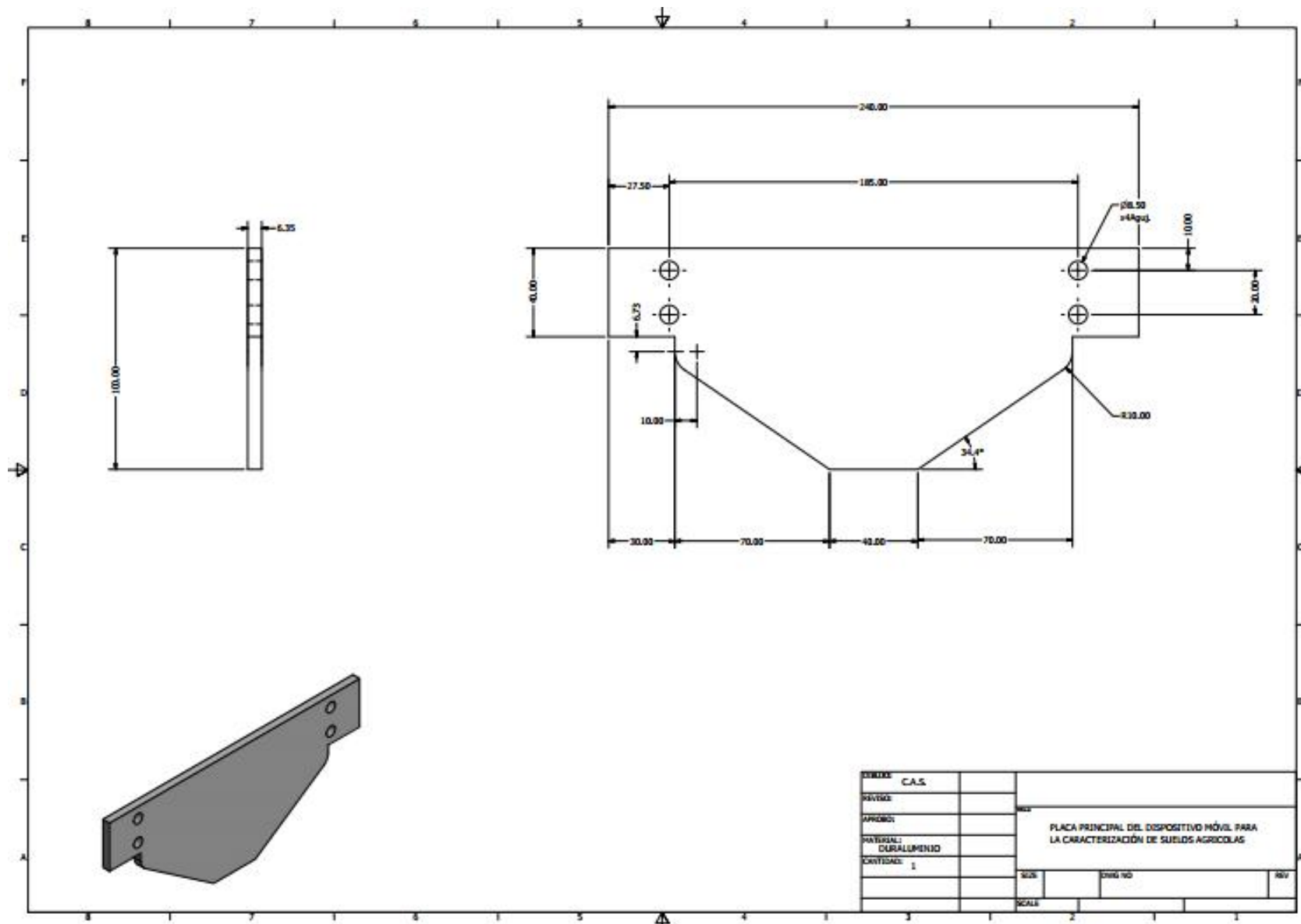


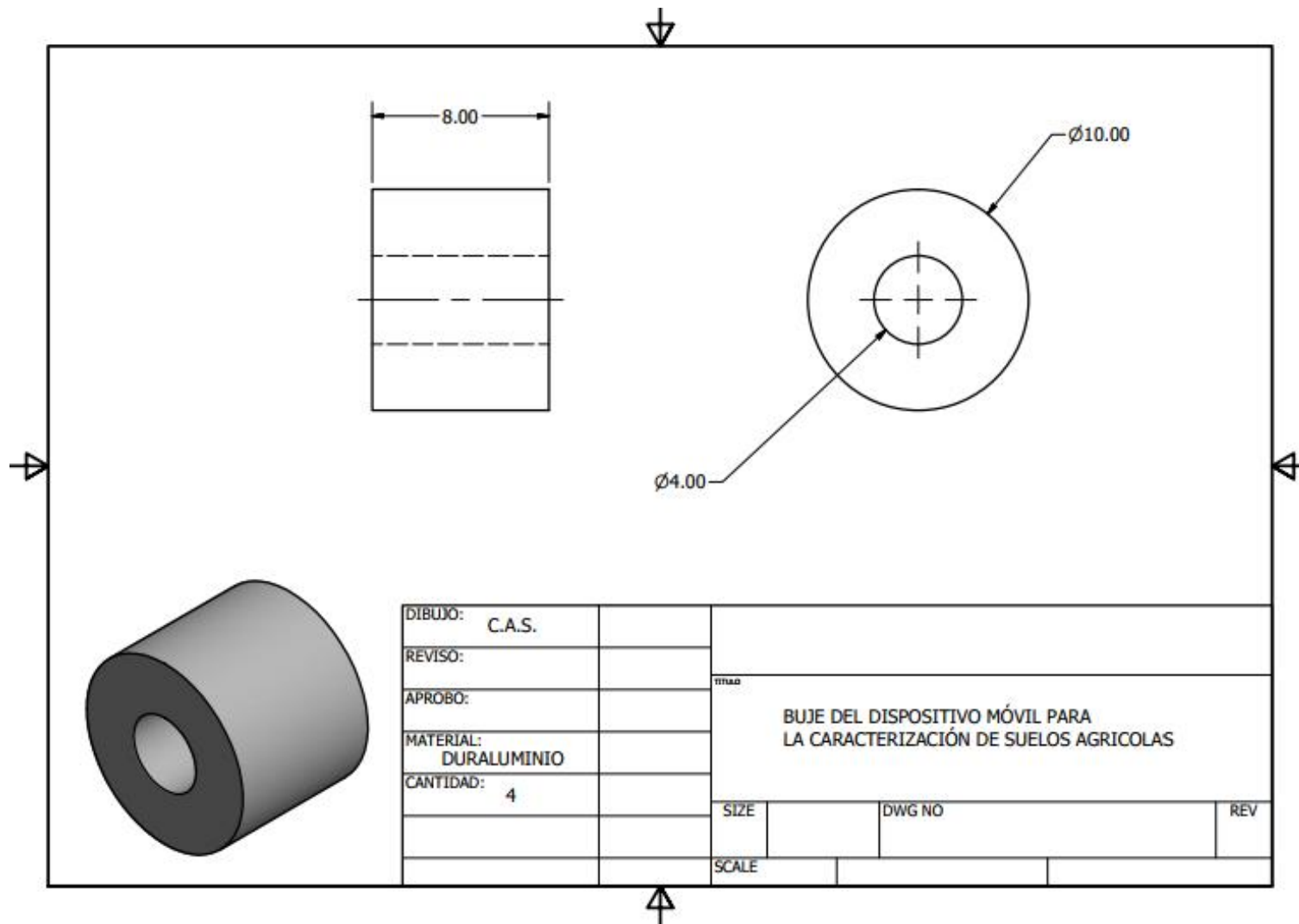


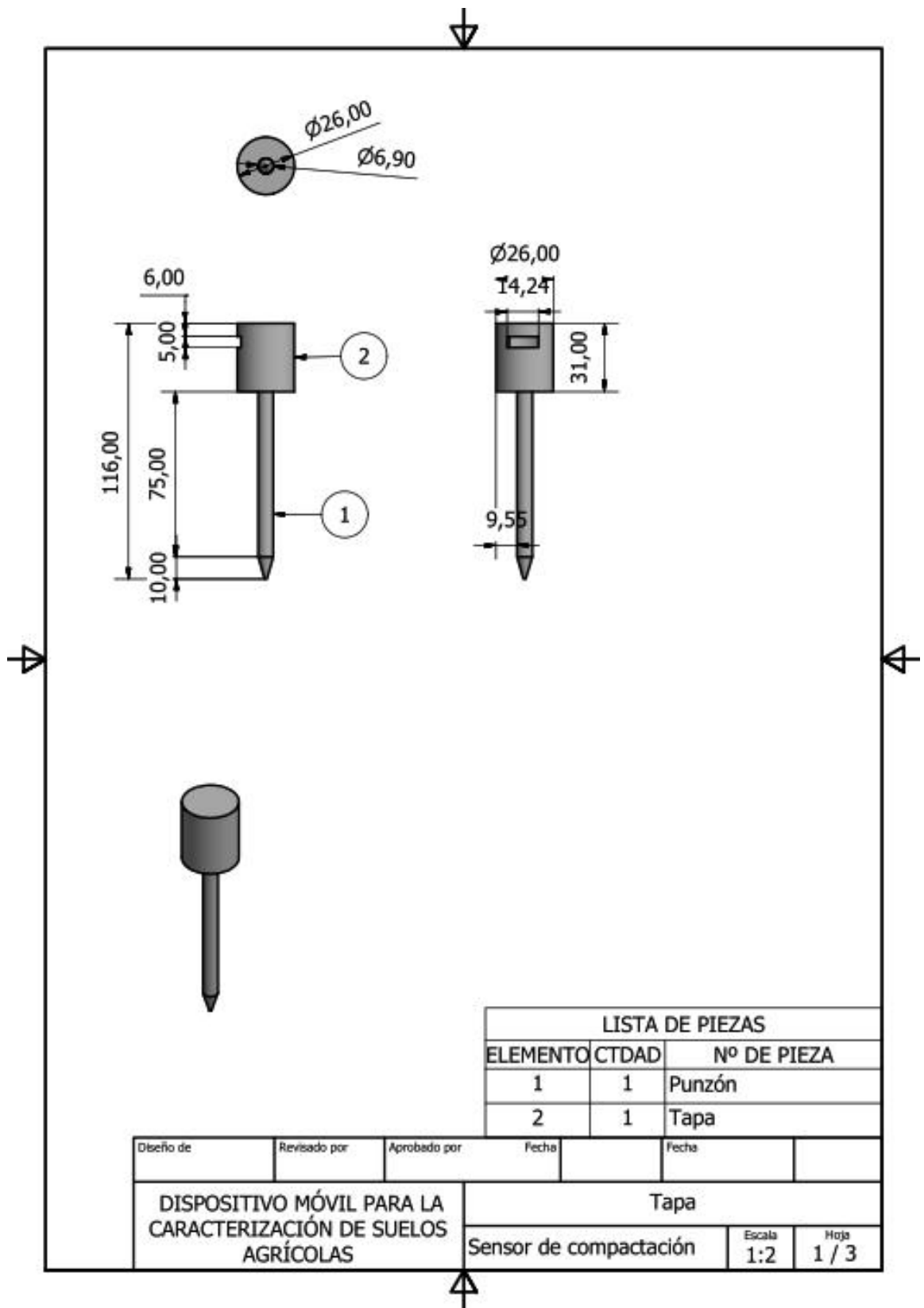


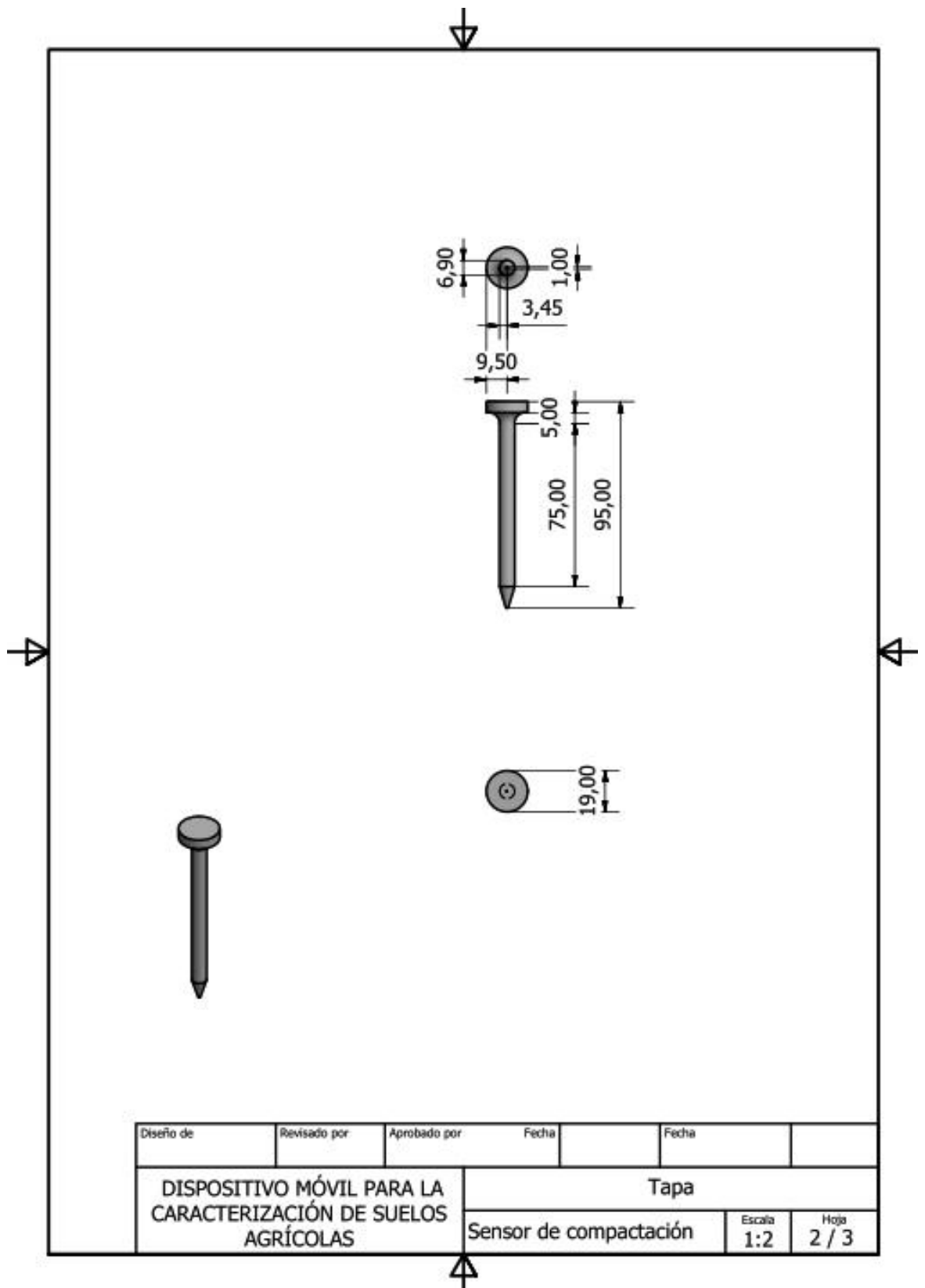


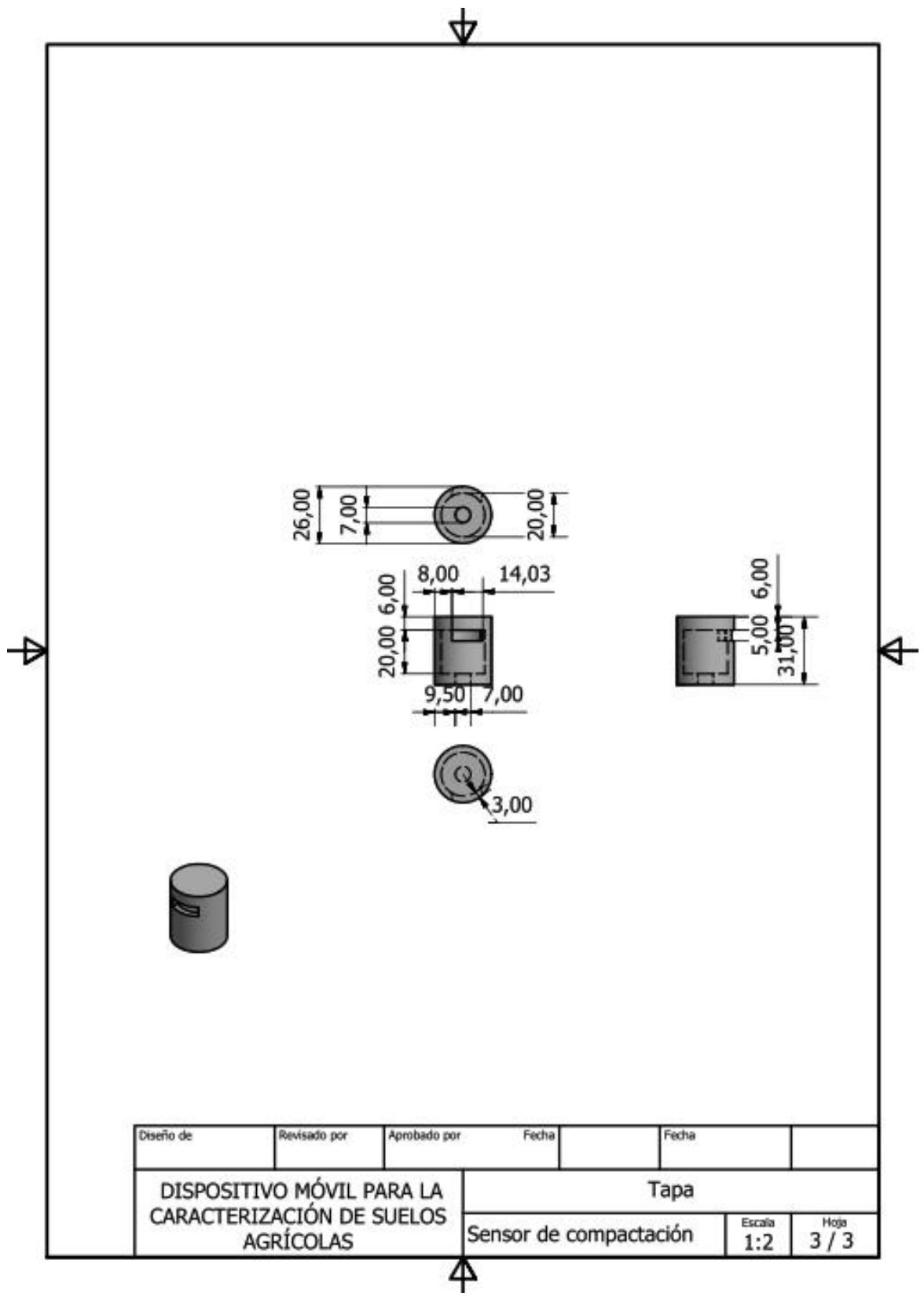






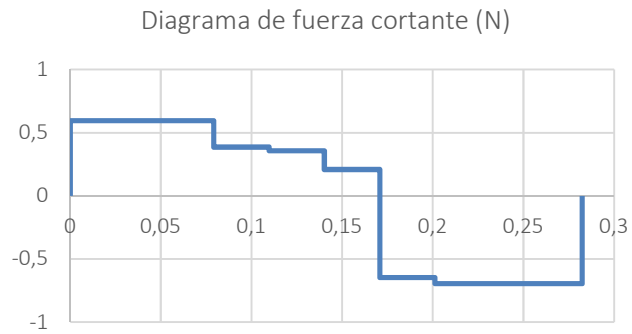






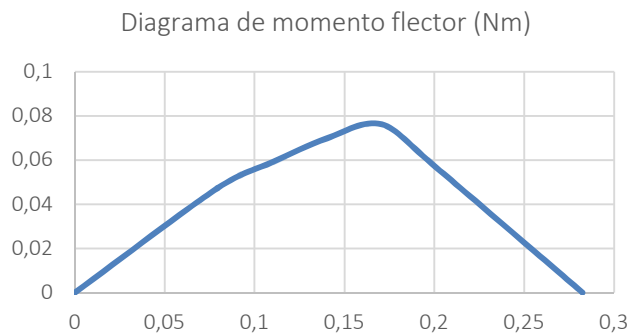
ANEXO C. DIAGRAMAS DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO

Gráfica 14. Diagrama de fuerza de placa para sensores en instante 1



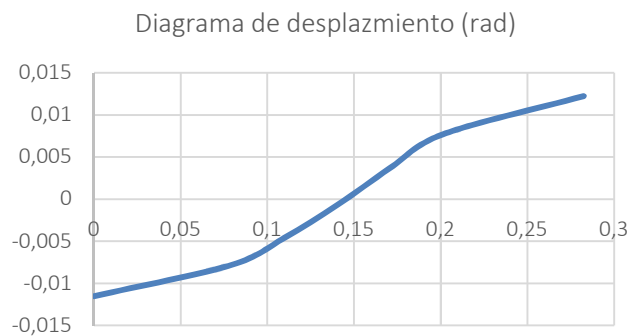
Fuente: Autores.

Gráfica 15. Diagrama de momento flector de placa para sensores en instante 1



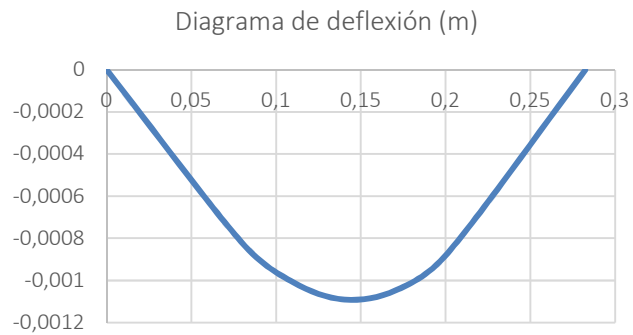
Fuente: Autores.

Gráfica 16. Diagrama de desplazamiento de placa para sensores en instante 1



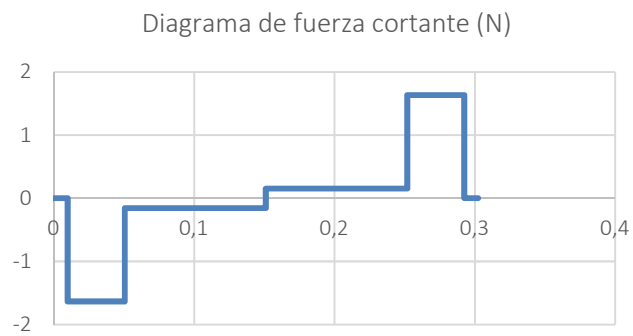
Fuente: Autores.

Gráfica 17. Diagrama de deflexión de placa para sensores en instante 1



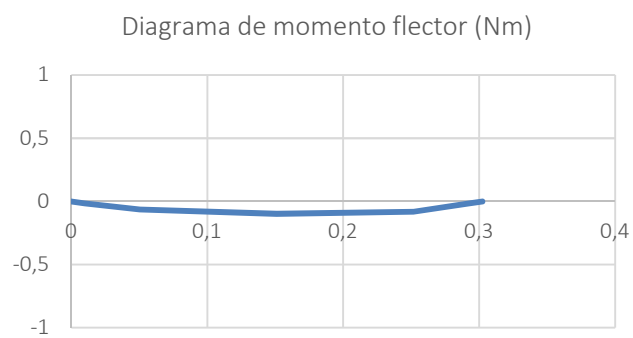
Fuente: Autores.

Gráfica 18. Diagrama de fuerza cortante en plano xz del eje principal en instante 1



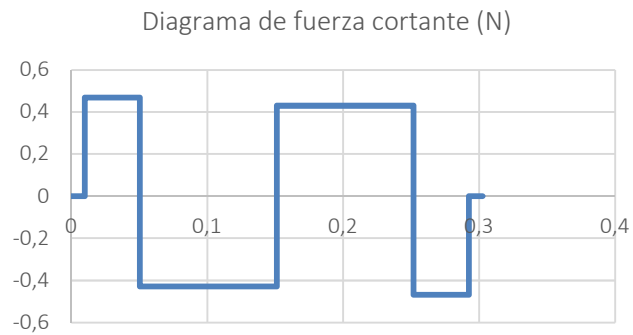
Fuente: Autores.

Gráfica 19. Diagrama de momento flector en plano xz del eje principal en instante 1.



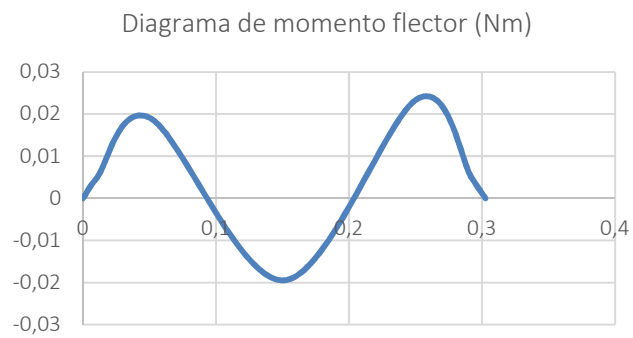
Fuente: Autores.

Gráfica 20. Diagrama de fuerza cortante en plano yz del eje principal en instante 1



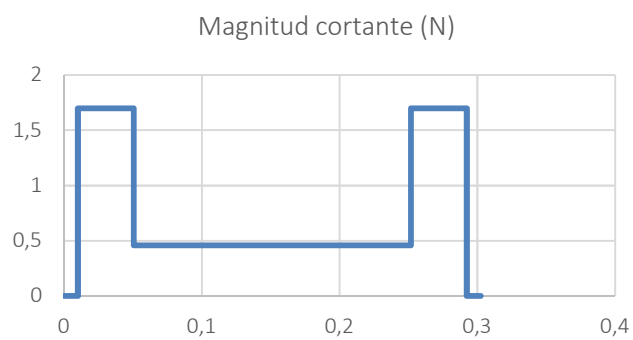
Fuente: Autores.

Gráfica 21. Diagrama de momento flector en plano yz del eje principal en instante 1



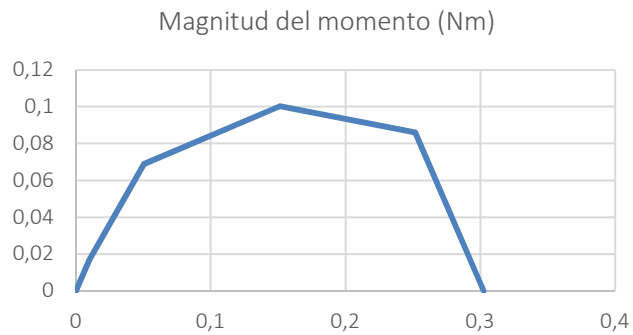
Fuente: Autores.

Gráfica 22. Diagrama magnitud cortante del eje principal en instante 1



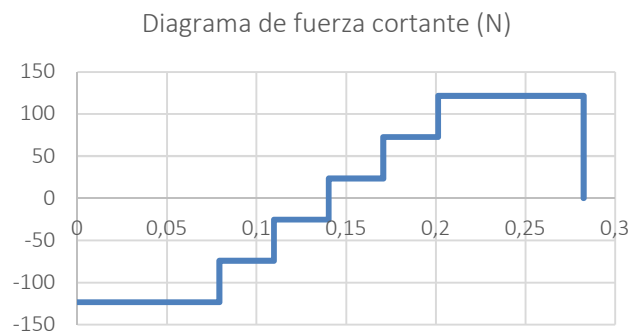
Fuente: Autores.

Gráfica 23. Magnitud del momento del eje principal en instante 1



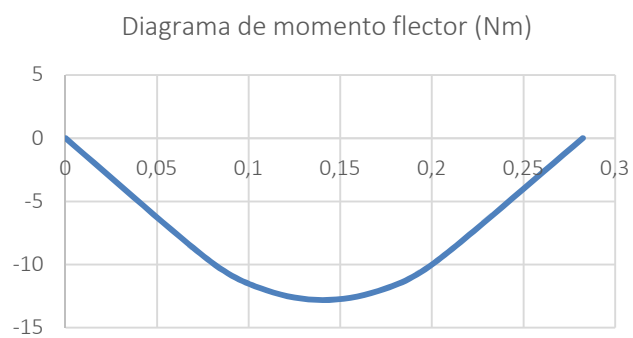
Fuente: Autores.

Gráfica 24. Diagrama de fuerza cortante en placa para sensores en instante 2



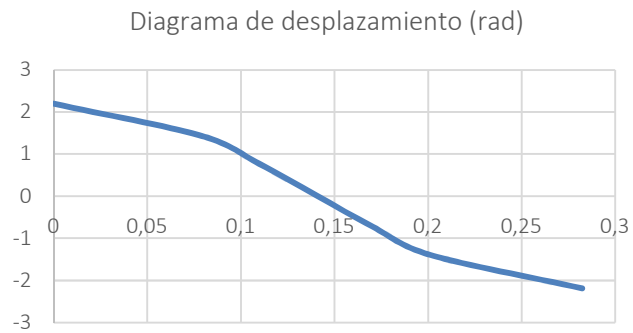
Fuente: Autores.

Gráfica 25. Diagrama de momento flector en placa para sensores en instante 2



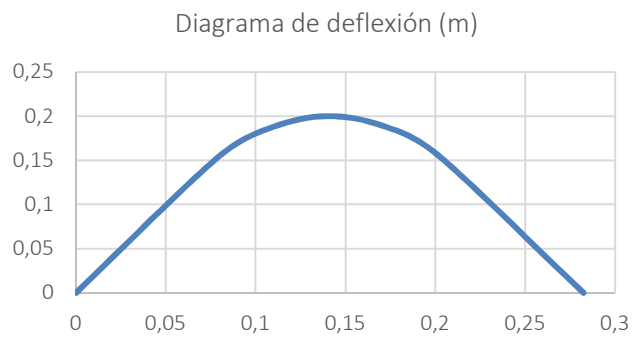
Fuente: Autores.

Gráfica 26. Diagrama de momento desplazamiento en placa para sensores en instante 2



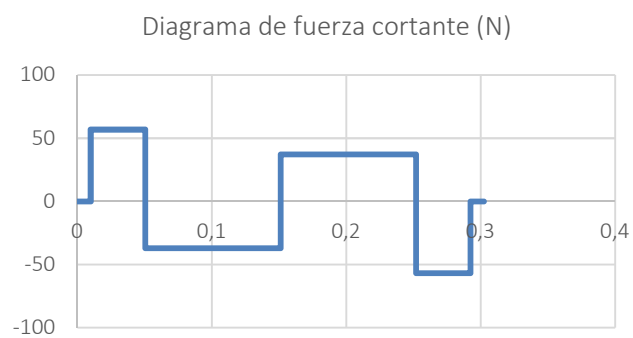
Fuente: Autores.

Gráfica 27. Diagrama de deflexión en placa para sensores en instante 2



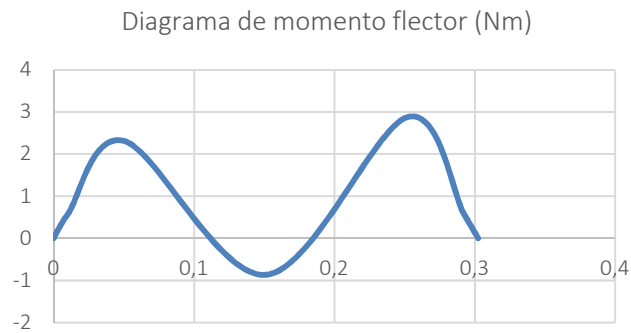
Fuente: Autores.

Gráfica 28. Diagrama de fuerza cortante en plano xz del eje principal en instante 2



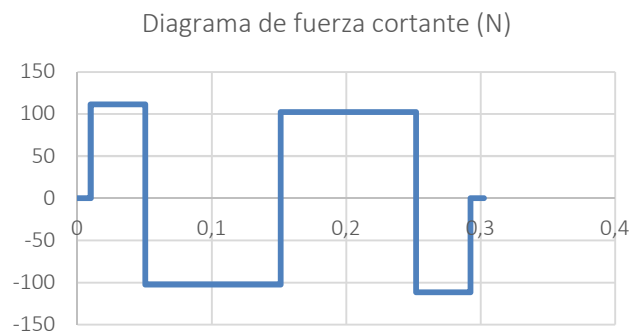
Fuente: Autores.

Gráfica 29. Diagrama de momento flector en plano xz del eje principal en instante 2



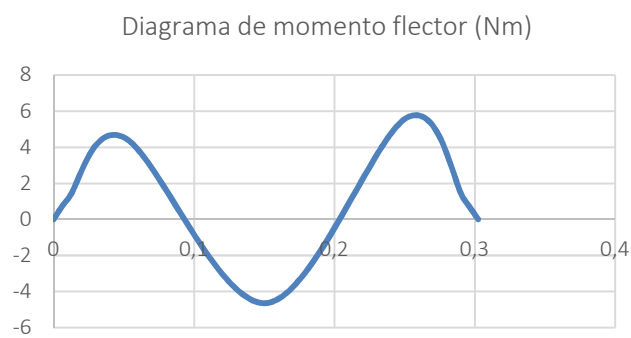
Fuente: Autores.

Gráfica 30. Diagrama de fuerza cortante en plano xy del eje principal en instante 2



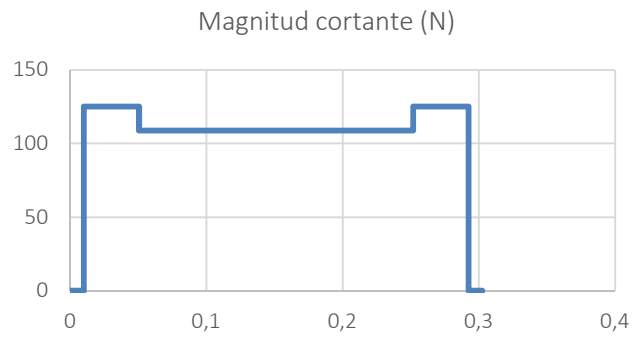
Fuente: Autores.

Gráfica 31. Diagrama de fuerza cortante en plano xy del eje principal en instante 2



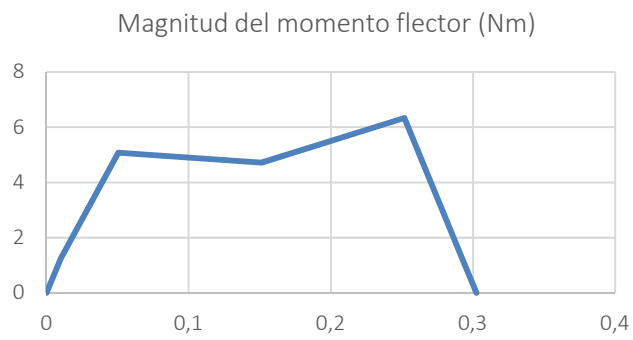
Fuente: Autores.

Gráfica 32. Diagrama de magnitud cortante del eje principal en instante 2



Fuente: Autores.

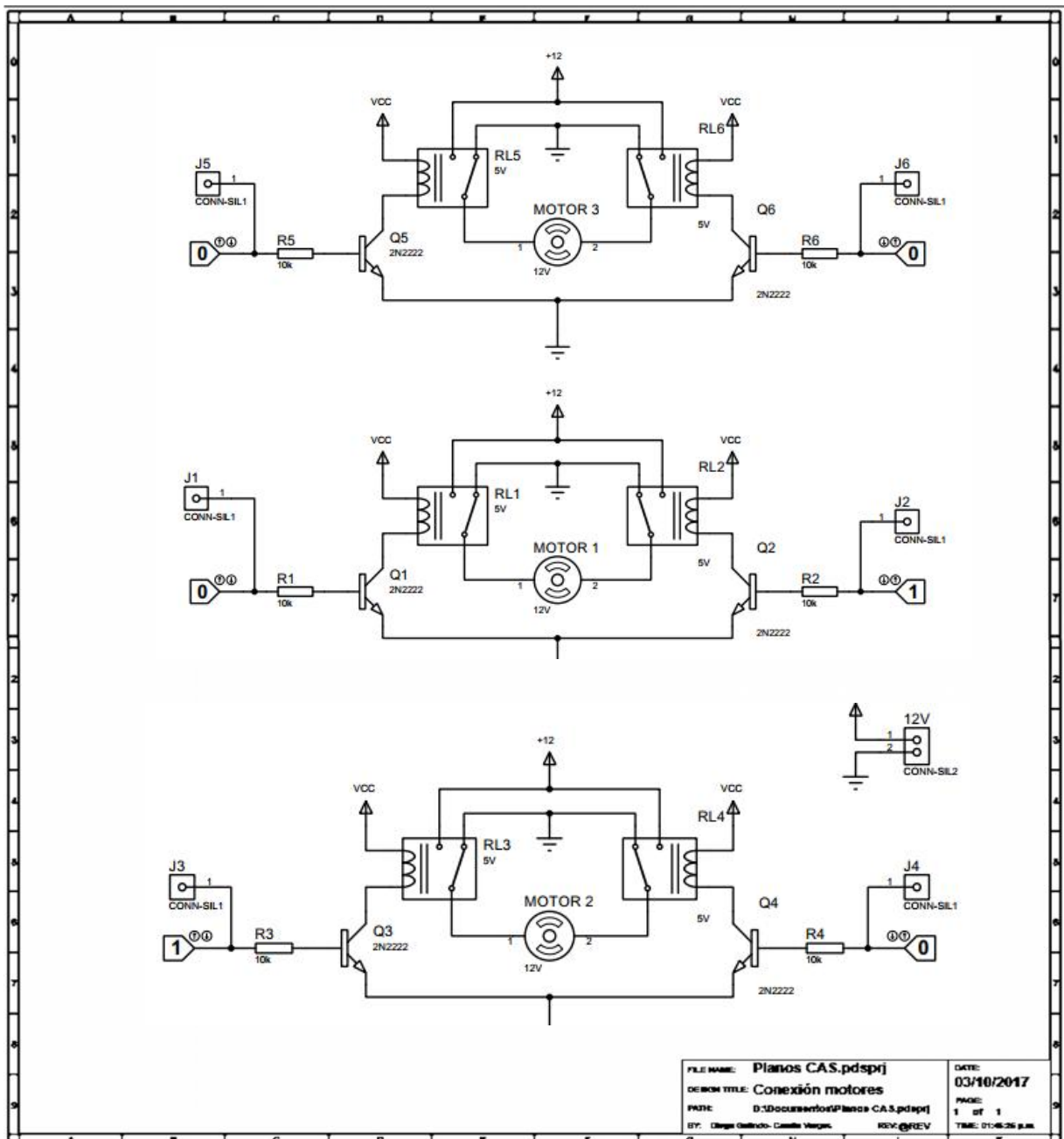
Gráfica 33. Diagrama de magnitud del momento flector del eje principal en instante 2



Fuente: Autores.

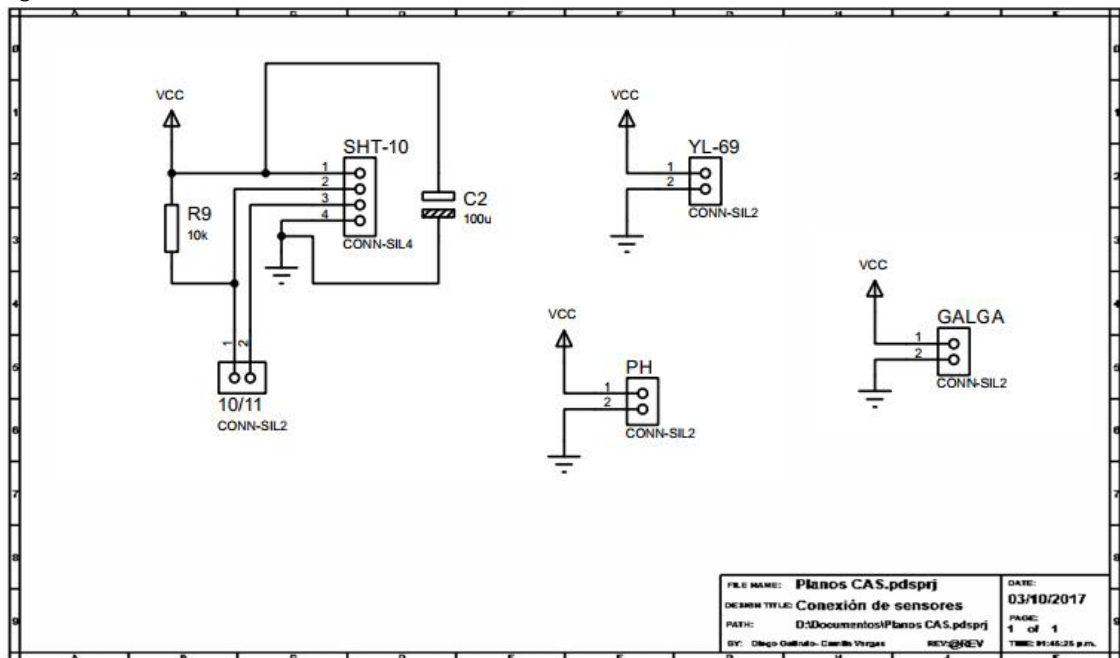
ANEXO D. PLANOS DE CONEXIÓN ELECTRONICOS

Figura 56. Plano de conexión motores



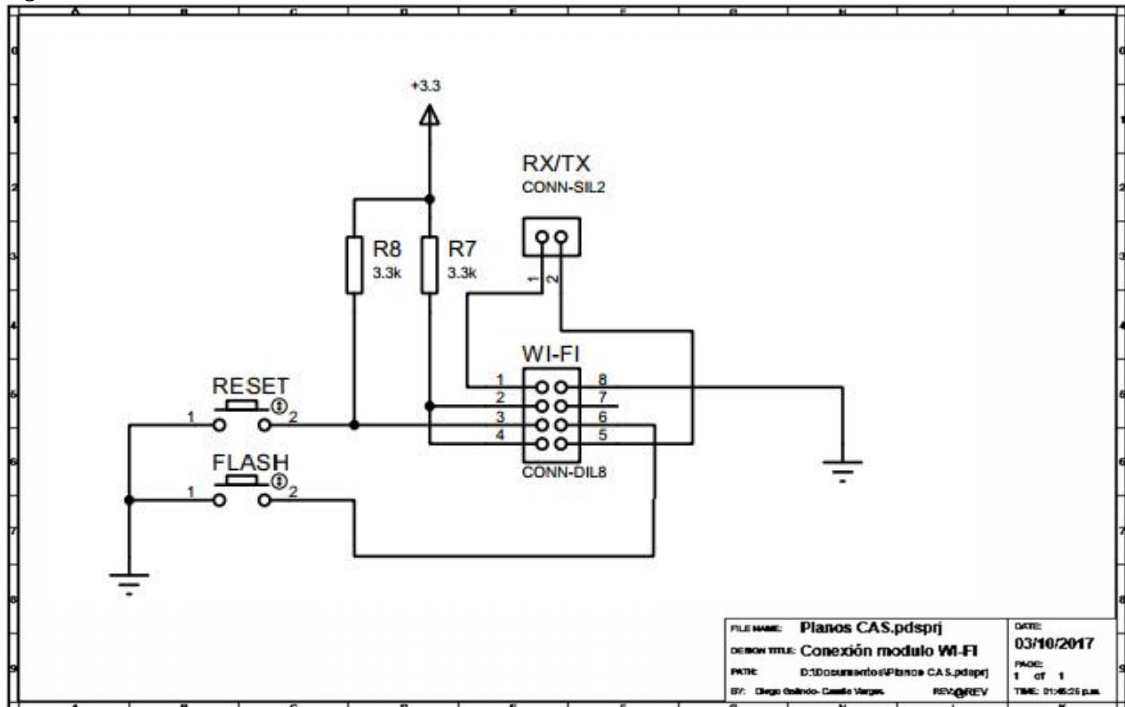
Fuente: Autores- Diseño en Software Proteus

Figura 57. Plano de conexión de sensores



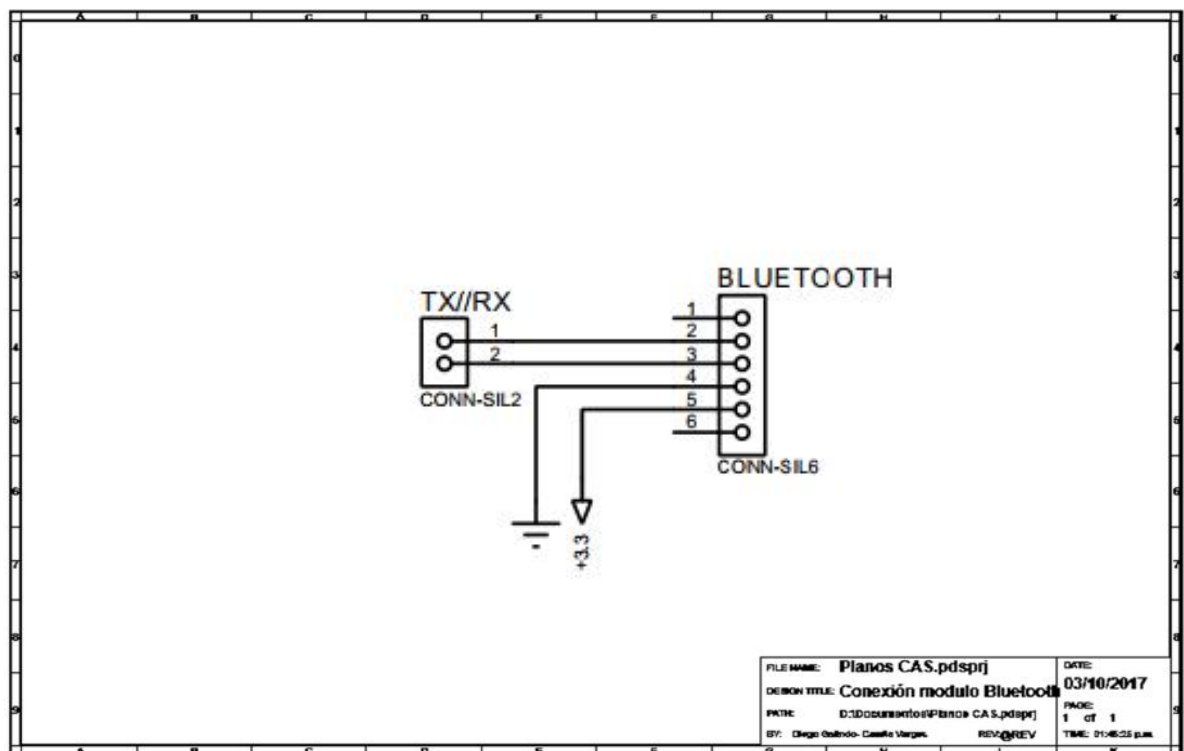
Fuente: Autores- Diseño en Software Proteus

Figura 58. Plano de conexión modulo WI-FI



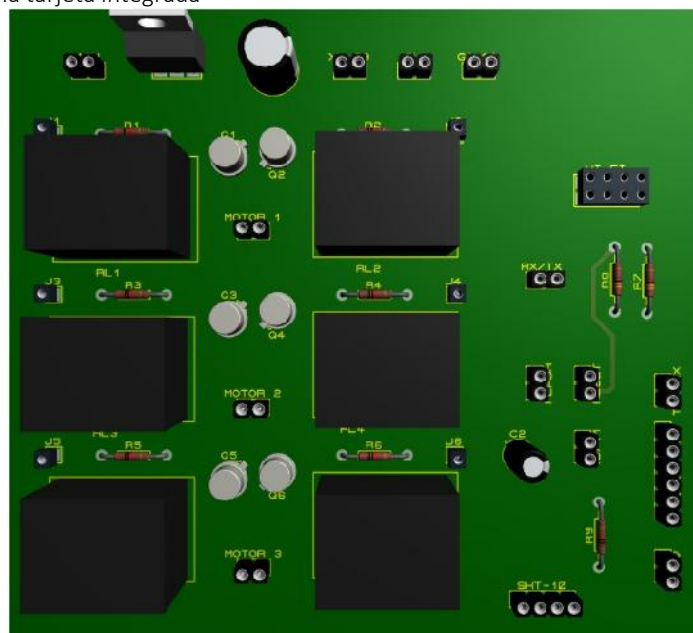
Fuente: Autores- Diseño en Software Proteus

Figura 59. Plano de conexión modulo Bluetooth



Fuente: Autores- Diseño en Software Proteus

Figura 60- Diseño de la tarjeta integrada



Fuente: Autores- Software Proteus