





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN**  
**INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS**

*Trabajo Terminal*

**“Prototipo de robot móvil autónomo para caracterizar suelos de cultivo”**

Que para obtener el título de

**“Ingeniero en mecatrónica”**

Presenta

**Nayeli Zoraida Miranda Murillo**

Asesores

**Dr. Jorge Fernando Ángeles Islas**

**Dr. Juan Antonio Jaramillo Gómez**





## Autorización de uso de obra

**Instituto Politécnico Nacional**

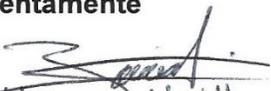
**Presente**

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Nayeli Zoraida Miranda Murillo (se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "Prototipo de robot móvil autónomo para caracterizar suelos de cultivo", en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "El IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "El IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "La Tesis". Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 03 de Mayo de 2022

**Atentamente**

  
Nayeli Zoraida Miranda Murillo



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y  
TECNOLOGÍAS AVANZADAS

TRABAJO TERMINAL II

“Prototipo de robot móvil autónomo para caracterizar suelos de cultivo”

Que para obtener el título de  
“Ingeniero en Mecatrónica”

Presenta:

Miranda Murillo Nayelí Zoraida

Asesores:

Dr. Jorge Fernando Ángeles Islas

Dr. Juan Antonio Jaramillo Gómez

Sinodales:

Presidente del Jurado

Dr. Alberto Luviano Juárez

Profesor Titular

Ing. Omar Heredia Vargas

Ciudad de México a 18 de enero del 2022





# DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis papás (María Elena Murillo y Jorge Miranda Granados) por apoyarme en el transcurso de toda mi formación académica, a mis tíos Ana Lilia y Jorge Murillo, a mis entrenadores de atletismo (Domingo López Ramos y Alejandro Zamudio Orduño) quienes fueron también muy importantes en este camino formándome como atleta y persona, a mis compañeros de estudio, a todos mis profesores, mis amigos y sin duda alguna mis asesores quienes sin su ayuda y motivación no habría logrado este trabajo que me ha tomado ya un tiempo pero gracias a esto me ha forjado como una persona más responsable y comprometida.

También dedico con todo mi amor y cariño este trabajo a mi tío que en paz descanse, Ingeniero en Mecatrónica Oscar Murillo Ramírez egresado de esta misma institución por ser mi ejemplo para seguir profesionalmente.



# AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por proporcionarme siempre los recursos para mi formación académica, así como a mis asesores, especialmente al Dr. Jorge Fernando Ángeles Islas por todo el apoyo y seguimiento para este gran proyecto. Agradezco ampliamente a cada persona que de alguna manera contribuyó al término de mis estudios de licenciatura. Hago una mención especial también para Arturo Tapia quién fue un apoyo incondicional en esta última etapa de mi licenciatura.



# Contenido

---

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>NOMENCLATURA</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3
OBJETIVO .....	4
OBJETIVOS PARTICULARES .....	4
TRABAJO TERMINAL 1 .....	4
TRABAJO TERMINAL 2 .....	4
ENFOQUE MECATRÓNICO .....	5
ANTECEDENTES .....	5
<b>CAPITULADO</b> .....	<b>7</b>
<b>1. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>9</b>
1.1. MARCO TEÓRICO .....	9
1.1.1. SUELOS DE CULTIVO .....	9
1.1.1.1. TIPOS DE SUELO .....	9
1.1.1.2. HUMEDAD DE SUELO .....	10
1.1.1.3. TEMPERATURA DEL SUELO .....	11
1.1.1.4. EL PH DEL SUELO .....	12
1.1.2. IRRADIANCIA .....	13
1.1.3. EL ESPECTRO DE RADIACIÓN .....	13
1.1.3.1. ABSORCIÓN DEL ESPECTRO DE RADIACIÓN SOLAR .....	15
1.1.4. ROBOT MÓVIL .....	17
1.1.5. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) .....	17
1.1.6. SISTEMA DE BARRENAMIENTO .....	18
1.2. DESCRIPCIÓN DEL SUELO DE INTERÉS .....	19
1.3. MARCO PROCEDIMENTAL .....	20
1.3.1. SISTEMA MECATRÓNICO .....	20
1.3.2. METODOLOGÍA DISEÑO MECATRÓNICO MODELO VDI 2206 .....	21
1.3.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA .....	22
1.3.2.2. DISEÑO DEL DOMINIO ESPECÍFICO .....	22
1.3.2.3. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA .....	22
1.3.2.4. MODELADO Y SIMULACIÓN .....	22
1.3.2.5. VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN .....	23
1.3.3. MODELADO DE FUNCIONES (IDEFO) .....	23
1.3.4. MÉTODO DE SELECCIÓN AHP .....	24
1.3.5. ANÁLISIS MORFOLÓGICO .....	24
1.3.6. RUTA DE DECISIONES .....	24
<b>2. DISEÑO DEL SISTEMA</b> .....	<b>25</b>
2.1. DISEÑO CONCEPTUAL .....	25
2.2. CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL .....	26
2.3. NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS .....	27
2.3.1. REQUERIMIENTOS .....	28
2.3.2. VALIDACIÓN DE NECESIDADES-REQUERIMIENTOS .....	28

2.4.	ARQUITECTURA FUNCIONAL .....	29
2.4.1.	DESCOMPOSICIÓN DE FUNCIONES .....	29
2.4.2.	MODELO DE PROCESOS DE FUNCIONES IDEF-0 .....	31
2.4.3.	VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS-FUNCIONES .....	32
2.5.	ARQUITECTURA FÍSICA .....	32
2.5.1.	MODELADO DE LA ARQUITECTURA FÍSICA .....	32
2.5.2.	VALIDACIÓN DE FUNCIONES-MÓDULOS .....	34
2.6.	PROPUESTAS DE SOLUCIÓN .....	35
2.6.1.	GENERACIÓN DE CONCEPTOS .....	35
2.6.2.	OBJETIVOS PONDERADOS .....	36
2.6.3.	EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LA FUNCIÓN .....	37
2.6.3.1.	BARRENADO .....	37
2.6.3.2.	MOVIMIENTO DEL ROBOT MÓVIL .....	37
2.6.3.3.	ADQUISICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SUELO .....	38
2.6.3.4.	TRANSFERENCIA Y ALMACENAMIENTO DE DATOS. ....	38
2.6.3.5.	SUMINISTRO ENERGÉTICO.....	38
2.6.4.	MÉTODO DE SELECCIÓN CONCEPTO DE SOLUCIÓN .....	40
2.6.4.1.	SELECCIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL .....	40
2.6.5.	SELECCIÓN DEL CONCEPTO DE SOLUCIÓN .....	41
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DEL DOMINIO ESPECÍFICO.....</b>	<b>44</b>
3.1.	DISEÑO DETALLADO POR FUNCIONES GENERALES.....	44
3.2.	ESTIMACIÓN DE REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS .....	53
3.2.1.	DESPLAZAMIENTO DEL MÓVIL.....	53
3.2.2.	MÓDULO DE POSICIONAMIENTO DE SENSORES Y BARRENO .....	54
3.2.3.	MECANISMO BARRENADOR .....	54
3.2.4.	MECANISMO DE ELEVADOR.....	54
3.3.	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DEL MÓVIL EN CAMPO .....	55
3.4.	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS. ....	57
3.4.1.	SENSOR NPK.....	57
3.4.2.	SENSOR UV .....	58
3.4.3.	SENSOR IR Y DE TEMPERATURA. ....	59
3.5.	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO .....	60
<b>4.</b>	<b>INTEGRACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>62</b>
4.1.	INTEGRACIÓN DE M1 Y M2 .....	62
4.2.	INTEGRACIÓN M1-M2-M3.....	62
4.3.	INTEGRACIÓN M5 CON M2-M3-M4 .....	63
4.4.	INTEGRACIÓN M1-M2-M3-M4-M5 CON M6 .....	63
<b>5.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>65</b>
5.1.	IMPLEMENTACIÓN MÓDULOS DE DESPLAZAMIENTO Y ESTRUCTURAL M1 Y M2.....	65
5.1.1.	VERIFICACIÓN MÓDULOS DE MOVIMIENTO (M1-M2-M3) .....	65
5.1.1.1.	VERIFICACIÓN DEL MÓDULO M1 .....	65
5.1.1.2.	VERIFICACIÓN DEL MÓDULO DE DESPLAZAMIENTO DE COMPONENTES M2.....	73
5.1.1.3.	VERIFICACIÓN DEL MÓDULO DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS M3 .....	74
5.1.2.	COLOCACIÓN DE MOTORES.....	75
5.2.	IMPLEMENTACIÓN DE M4 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	77
5.2.1.	VERIFICACIÓN DEL MÓDULO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN M4 .....	77
5.3.	IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO ENERGÉTICO M5 .....	79
5.3.1.	VERIFICACIÓN DEL MÓDULO ENERGÉTICO M5 .....	80
5.4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA M6.....	81
5.4.1.	VERIFICACIÓN DEL MÓDULO DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	81
5.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>91</b>
8.1.	PARÁMETROS DE MEDICIONES DEL SENSOR NPK.....	91
8.2.	HOJA DE ESPECIFICACIONES MÓDULO MAX485.....	92
8.3.	HOJA DE ESPECIFICACIONES MÓDULO ML8511 .....	93
8.4.	HOJA DE ESPECIFICACIONES SENSOR MLX90614 .....	96
8.5.	HOJA DE ESPECIFICACIONES 7805 .....	98
8.6.	HOJA DE ESPECIFICACIONES IR2112 .....	100
8.7.	HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DHT11 .....	102
8.8.	CÓDIGOS IMPLEMENTADOS PARA LA MOVILIDAD DEL VEHÍCULO.....	105
8.9.	CÓDIGOS DE LOS SENSORES.....	110
8.10.	COSTO TOTAL DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	120

# Resumen

---

El presente trabajo describe el diseño y construcción de un robot automático útil para realizar investigación de ciencia básica sobre los efectos de la radiación durante la germinación de semilla de maíz y sobre las plántulas de la misma. Específicamente el sistema resulta útil para detectar la intensidad de la radiación UV-B (rayos ultravioleta de onda corta) y UV-A (rayos ultravioleta de onda larga el cuál se encuentra entre los 320 y 400 nm) incidente y su capacidad de penetración en suelo a profundidades de siembra de la semilla, adicionalmente se incluye un detector de concentración de iones de potasio que resulta de interés por ser el principal nutriente para cultivos de maíz. Se pretende que el robot tenga un sistema de georeferencia útil para efectos de investigaciones realizadas en zonas específicas que ayude a llevar un récord de radiación en función de la zona de estudio.

El robot constará de un mecanismo de barrenado para exploración subterránea de baja profundidad acoplado convenientemente a un sistema de transducción para la caracterización de muestras en el sitio de interés. El robot será geoposicionado vía GPS lo que permite el movimiento libre dentro un terreno específico.

El sistema contribuirá al conocimiento del suelo de cultivo en la región estudiada y en los criterios de selección de tipo de cultivo favorecido por las propiedades relacionadas con los parámetros detectados tales como humedad y tipos de nutrientes más importante en dicha zona.

**Palabras Clave:** Irradiancia, GPS, ion de potasio, humedad, caracterización de suelos de cultivo.

# Abstract

The present work describes the design and construction of an automatic robot useful for conducting basic science research on the effects of radiation during the germination of corn seed and on the seedlings thereof. Specifically, the resulting system useful for detecting the intensity of UV-B (short-wave ultraviolet) and UV-A (long-wave ultraviolet radiation), the finding is between the 320 and 400 nm) incident and its penetration capacity in soil at depths of sowing the seed, it also includes a potassium ion concentration detector that is of interest because it is the main nutrient for corn crops. It is intended that the robot has a useful georeference system for the purpose of research carried out in specific areas that helps to carry out a radiation recording depending on the study area.

The robot will consist of a low depth underground drilling mechanism conveniently coupled with a transduction system for the characterization of samples at the site of interest. The robot will be photography via GPS, which allows free movement within a specific terrain.

The system contributes to the knowledge of the cultivated soil in the studied region and in the criteria of selection of type of crop favored by the properties related to the parameters detected as humidity and most important types of nutrients in said area.

**Key words:** Irradiance, GPS, potassium ion, humidity, characterization of cultivation soils.

# Índice de figuras

---

FIGURA 1.1 SUELOS DE CULTIVO [8].	9
FIGURA 1.2 PRINCIPALES GRUPOS DE SUELOS EN MÉXICO [10]	10
FIGURA 1.3 HUMEDAD DEL SUELO [11].	11
FIGURA 1.4 TERMÓMETRO QUE SIRVE PARA MEDIR LA TEMPERATURA DEL SUELO A PROFUNDIDADES DE 5, 10, 20, 50 Y 100 CM POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE [12].	12
FIGURA 1.5 GRUPOS EN LOS QUE SE DIVIDE EL pH [13].	13
FIGURA 1.6 GRÁFICA DE IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN SOLAR [16].	13
FIGURA 1.7 ESPECTRO DE RADIACIÓN [17].	14
FIGURA 1.8 EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) ESTÁ COMPUESTA POR SATÉLITES, ESTACIONES TERRESTRES Y RECEPTORES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	18
FIGURA 1.9 JUEGO DE BROCAS.	19
FIGURA 1.10 SECCIÓN REPRESENTATIVA DE LA ZONA.	20
FIGURA 1.11 RAMAS QUE CONFORMAN LA INGENIERÍA MECATRÓNICA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	21
FIGURA 1.12 DIAGRAMA DE METODOLOGÍA VDI 2206.	21
FIGURA 1.13 REPRESENTACIÓN A BLOQUE DE UNA ACTIVIDAD PARA UN MODELO IDEF0.	23
FIGURA 2.1 FUNCIÓN PRINCIPAL, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	29
FIGURA 2.2 DIAGRAMA DE ESTRUCTURA DE FUNCIONES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	30
FIGURA 2.3 MODELO IDEF0 DEL SISTEMA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	31
FIGURA 2.4 DIAGRAMA A BLOQUES DE LA ARQUITECTURA FÍSICA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	33
FIGURA 2.5 PARTES DEL DISEÑO CONCEPTUAL PRELIMINAR DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	42
FIGURA 2.6 BASE DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	42
FIGURA 2.7 DISEÑO CONCEPTUAL PRELIMINAR DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	43
FIGURA 3.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO MÓVIL, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	45
FIGURA 3.2 BASE DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	45
FIGURA 3.3 POSICIONAMIENTO DE SENSORES Y BARRENADOR, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	53
FIGURA 3.4 TERRENO DE SEMBRADÍO.	55
FIGURA 3.5 REPRESENTACIÓN EN CAMPO DE LA TRAYECTORIA DE SEGUIMIENTO VECTORIAL DEL SISTEMA MÓVIL DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	56
FIGURA 3.6 SIMULACIÓN DE CONTROL DE MOTORES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	56
FIGURA 3.7 DIAGRAMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	57
FIGURA 3.8 SENSOR NPK.	57
FIGURA 3.9 MÓDULO MAX485.	58
FIGURA 3.10 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN DEL SENSOR NPK AL MÓDULO MAX485, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	58
FIGURA 3.11 SENSOR UV.	59
FIGURA 3.12 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN DEL SENSOR UV ML8511, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	59

FIGURA 3.13 SENSOR MLX90614ESF-BAA. ....	60
FIGURA 3.14 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN DEL SENSOR MLX90614ESF-BAA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	60
FIGURA 3.15 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	61
FIGURA 4.1 DIAGRAMA A BLOQUES DE CONEXIONES PARA INTEGRACIÓN DE M1-M2-M3, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	62
FIGURA 4.2 DIAGRAMA A BLOQUES DE CONEXIONES PARA INTEGRACIÓN DE M4 CON M2-M3 Y M5, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	63
FIGURA 4.3 SISTEMA MECATRÓNICO FINAL, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	64
FIGURA 5.1 BASE DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	66
FIGURA 5.2 PROTOTIPO FINAL, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	74
FIGURA 5.3 PORTA SENSORES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	75
FIGURA 5.4 PIEZA PARA FIJAR MOTORES A LA BASE DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	76
FIGURA 5.5 MONTAJE DE LOS MOTORES A LA BASE DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	76
FIGURA 5.6 PIEZA DISEÑADA EN 3D PARA EL SERVOMOTOR EN EL EJE “Z”, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	77
FIGURA 5.7 PRUEBA DEL SENSOR UV GYML8511, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	78
FIGURA 5.8 PRUEBA DEL SENSOR DE IF MLX90614ESF-BAA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ...	78
FIGURA 5.9 PRUEBA DEL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	78
FIGURA 5.10 PRUEBA DEL SENSOR NPK, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	79
FIGURA 5.11 PRUEBA DEL SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO FC-28, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	79
FIGURA 5.12 ESPECIFICACIONES DE LA BATERÍA RECARGABLE POWER SONIC DE 12/1.4AH. ....	80
FIGURA 5.13 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL ADAPTADOR DE CORRIENTE. ....	80
FIGURA 5.14 COMUNICACIÓN SERIAL DE ARDUINO CON LA TARJETA RASPBERRY, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	81
FIGURA 5.15 INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	82
FIGURA 5.16 INTERFAZ IRRADIANCIA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	82
FIGURA 5.17 GRÁFICA DE LA IRRADIANCIA REFRACTADA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	83
FIGURA 5.18 MUESTREO DE DATOS, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	83
FIGURA 5.19 GRÁFICA DEL SENSOR DE HUMEDAD, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	84
FIGURA 5.20 GRÁFICA DEL SENSOR DE TEMPERATURA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	84
FIGURA 5.21 GRÁFICA DEL SENSOR NPK, MOSTRANDO COMO DATO EL NITRÓGENO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	85
FIGURA 5.22 GRÁFICA DEL SENSOR NPK, MOSTRANDO COMO DATO EL POTASIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	85
FIGURA 5.23 GRÁFICA DEL SENSOR UV, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	86
FIGURA 5.24 SISTEMA MECATRÓNICO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. ....	87



# Índice de tablas

---

TABLA 1.1. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS SUELOS SEGÚN LA WRB [10] .....	10
TABLA 1.2 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA EN EL ESPECTRO SOLAR DISTINTAS LONGITUDES DE ONDA [17] .....	15
TABLA 1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA RADIACIÓN RECIBIDA EN LA TIERRA Y A NIVEL DEL MAR .....	16
TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL ROBOT MÓVIL, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	26
TABLA 2.2 REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	26
TABLA 2.3 REQUERIMIENTOS ADMINISTRATIVOS, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	27
TABLA 2.4 NECESIDADES IDENTIFICADAS DEL SISTEMA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	27
TABLA 2.5 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	28
TABLA 2.6 MATRIZ DE TRAZABILIDAD NECESIDADES-REQUERIMIENTOS, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	28
TABLA 2.7 MATRIZ DE TRAZABILIDAD REQUERIMIENTOS-FUNCIONES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	32
TABLA 2.8 MATRIZ DE FUNCIONES-MÓDULOS, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	34
TABLA 2.9 CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A CADA MÓDULO DEL SISTEMA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	35
TABLA 2.10 ANÁLISIS MORFOLÓGICO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021] .....	36
TABLA 2.11 ESCALA DE EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LA FUNCIÓN 1, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	37
TABLA 2.12 ESCALA DE EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LA FUNCIÓN 2, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	37
TABLA 2.13 ESCALA DE EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LA FUNCIÓN 3, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	38
TABLA 2.14 ESCALA DE EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LA FUNCIÓN 4, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	38
TABLA 2.15 ESCALA DE EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LA FUNCIÓN 5, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	38
TABLA 2.16 CRITERIOS DE SELECCIÓN Y SUS FUNCIONES CORRESPONDIENTES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].....	39
TABLA 2.17 ASIGNACIÓN DE LOS PESOS RELATIVOS DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	39
TABLA 2.18 DISEÑO CONCEPTUAL 1, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	40
TABLA 2.19 DISEÑO CONCEPTUAL 2, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	40
TABLA 2.20 DISEÑO CONCEPTUAL 3, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	41
TABLA 2.21 COMPONENTES PRINCIPALES DEL PROTOTIPO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	43
TABLA 3.1 INFORMACIÓN DE MODELO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	46
TABLA 3.2 PROPIEDADES DE MATERIAL, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	47
TABLA 3.3 CARGAS Y SUJECIONES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021]. .....	47

TABLA 3.4 CARGAS Y SUJECIONES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	47
TABLA 3.5 INFORMACIÓN DE MALLA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	48
TABLA 3.6 INFORMACIÓN DE MALLA- DETALLES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	48
TABLA 3.7 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	49
TABLA 3.8 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	50
TABLA 3.9 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	51
TABLA 3.10 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	52
TABLA 4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS.	64
TABLA 5.1 INFORMACIÓN DE MODELO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	67
TABLA 5.2 PROPIEDADES DE MATERIAL, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	68
TABLA 5.3 CARGAS Y SUJECIONES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	68
TABLA 5.4 CARGAS Y SUJECIONES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	68
TABLA 5.5 INFORMACIÓN DE MALLA, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	69
TABLA 5.6 INFORMACIÓN DE MALLA- DETALLES, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	69
TABLA 5.7 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	70
TABLA 5.8 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	71
TABLA 5.9 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	72
TABLA 5.10 RESULTADOS DEL ESTUDIO, [ELABORACIÓN PROPIA, 2021].	73

# Nomenclatura

---

$K_{Móvil}$	Energía cinética del móvil
$v_{móvil}$	Velocidad de desplazamiento del móvil
$U_{CG}$	Energía potencial sobre el centro de gravedad
$CG$	Centro de gravedad
$\varphi_{arrastrre}$	Energía promedio de arrastre
$P_{desplazamiento\ móvil}$	Potencia de desplazamiento del móvil
$t_{activación}$	Tiempo de activación
$t_{medio\ de\ elevación}$	Tiempo medio de elevación
$t_{desplazamiento\ neto}$	Tiempo de desplazamiento neto
$M_{móvil}$	Masa del móvil
$g$	Gravedad
$\tau_{máximo}$	Torque máximo
$m_{barreno}$	Masa del sistema del barreno
$m_{sensores}$	Masa del conjunto de sensores
$l$	Longitud
$P_{modulo\ barreno\ y\ sensores}$	Energía potencial para el módulo de barreno y sensores
$\theta$	Ángulo
$N$	Número de muestras recolectadas
$\pi$	Número pi
$t_{cambio\ de\ posición}$	Tiempo del cambio de posición
$rev$	Revoluciones
$\varphi_{fricción}$	Efecto de fricción
$P_{mecanismo\ barreno}$	Energía potencial del mecanismo de barreno
$U_{tornillo\ sin\ fin}$	Consumo de energía del tornillo sin fin
$U_{pieza\ elevador}$	Energía de desplazamiento de la pieza del elevador
$\varphi_{hacia\ suelo}$	Energía para barrenar hacia el suelo
$P_{elevador}$	Energía potencial del elevador
$m_{sin\ fin}$	Masa del tornillo sin fin
$R_{tornillo}$	Radio del tornillo
$h$	Paso entre filetes de tornillo sin fin
$S$	Carrera del elevador

# Introducción

---

En la actualidad la agricultura en México es una de las principales actividades económicas con mayor potencial de desarrollo, además, es una fuente de empleo muy grande, así como un gran generador de riqueza en bienes tangibles e intangibles, con un efecto lateral benéfico asociado al bienestar de familias y del país mismo.

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) del 2017 realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el 98.8% de las unidades de producción agrícola realizan agricultura a cielo abierto la cual tiene como característica que los cultivos no se encuentren dentro de invernaderos o bajo túneles de plástico que permitan la existencia de un ambiente controlado. El sistema de producción de cielo abierto es el más común ya que no requiere de una inversión de capital adicional para el productor, este método presenta diversos problemas debido a que los factores principales para la germinación de una semilla, como la humedad, la temperatura, nutrientes, han cambiado principalmente por los factores ambientales relacionados con el aceleramiento en el cambio climático y el efecto invernadero [1].

La energía irradiada del Sol que incide en la Tierra toma un papel fundamental ya que representa la energía útil en la etapa temprana de germinación, el posterior desarrollo de la planta y sus productos. Los aspectos críticos para la selección de tipo de cultivo se relacionan de manera importante con la presencia de concentraciones específicas de ciertos componentes y nutrientes existentes en la tierra destinada, no obstante, las condiciones cambian de manera importante con cada siembra lo que normalmente conduce a diversas estrategias, entre las más importantes se encuentra el ciclar los tipos de cultivos para evitar en la medida de lo posible el empobrecimiento de la tierra. Esta estrategia comúnmente ha quedado en manos de la experiencia del campesino o agricultor lo que inevitablemente conduce a potenciales errores en la selección de cultivo; dando como resultado una reducción en la eficacia de la estrategia y la obtención eficiente del bien deseado. El efecto de radiación incidente juega un papel importante en la conversión y degradación de compuestos y nutrientes en la tierra ya sea porque favorece el ambiente apropiado para el sustento y la reproducción de microorganismos útiles en la recomposición del suelo o bien por la conversión química directamente lograda por irradiancia. El estudio y conocimiento de la evolución del suelo a partir de la caracterización de los parámetros relevantes tales como concentración de nutrientes principales, humedad, compactación de suelo e irradiancia logrados con el prototipo propuesto, sin duda permite pasar de empirismo y experiencia, al método científico en el uso de suelos para cultivo.

Gracias al cambio climático los ciclos de cultivo a los que estaban acostumbrados los agricultores han cambiado, haciendo más difícil para ellos decidir la temporada adecuada, el tipo de semilla y el cultivo acorde a las características climatológicas las cuales influyen directamente en la estructura del suelo donde se planea cultivar

El propósito de este trabajo es diseñar y construir un prototipo de un sistema móvil que permita la exploración y caracterización que ayude a evaluar la homogeneidad de propiedades del suelo y el registro que permita valorar los cambios en las propiedades a lo largo del año sin intervención directa del productor.

## **Definición del problema**

Actualmente el criterio de selección de cultivo en una zona específica se apoya de manera importante en la experiencia del agricultor o del campesino. El conocimiento de las principales propiedades del suelo para cultivo y los cambios que experimenta el mismo en los parámetros relevantes tales como concentración de nutrientes principales, humedad, compactación de suelo e irradiancia a lo largo del tiempo requiere un estudio sistemático que permita pasar del empirismo experiencial al método científico en el uso de suelos para cultivo. Para este fin se requiere un mecanismo que permita la valoración constante y registro de propiedades del suelo de manera autónoma para visualizar los principales cambios el cual ofrezca una plataforma científica en el desarrollo y selección de criterios de siembra.

Hoy en día todos los estudios que se hacen con respecto a la irradiancia se hacen mediante estaciones meteorológicas que utilizan sensores de alto costo para medir la irradiancia en diferentes áreas, para ello también se utilizan dispositivos aéreos para poder cubrir terrenos de gran extensión. Todos estos datos obtenidos por estas estaciones son con respecto a la superficie y no se proporcionan datos a alguna profundidad. Por otro lado, existen sistemas de monitoreo de humedad y temperatura para cultivos que se encuentran dentro de un ambiente controlado, invernaderos.

Es por eso que en presente se propone el diseño y construcción de un robot móvil autónomo el cual debe ser capaz de presentar autonomía durante su operación de almacenamiento y recolección de valores específicos que pueda prolongarse hasta un día completo si lo requiere el usuario.

Debe incorporar elementos tales como mecanismos para barrenar con profundidades de hasta 15 cm para el posicionamiento de transductores específicos con el fin de determinar parámetros específicos de humedad volumétrica en tierra superficial ( $< 7\text{cm}$ ) vs tiempo, temperatura vs tiempo e intensidad de radiación a flor de suelo y atenuación de radiación UV vs profundidad ( $< 7\text{cm}$ ) para suelos de cultivo [2].

Deberá ofrecer una interfaz de usuario simple que permita relacionar la intensidad de radiación UV con el efecto de crecimiento en el cultivo. Tener la capacidad de geo referenciarse vía GPS para delimitar colindancias geográficas de operación.

La importancia de determinar los parámetros in situ radica en la in-homogeneidad resultante que se logra al utilizar diversidad de sistemas de riego, esto es, cuando se realiza irrigación con aguas residuales tiende a modificarse la concentración de ciertos minerales en las zonas de ingreso de dichas aguas, por otro lado el acelerado calentamiento global ampliamente demostrado juega un

papel importante durante la germinación de semillas debido principalmente a que los factores de calentamiento a nivel del suelo afectan de manera importante el desarrollo de la germinación hasta el nivel de plántula, actualmente existen diversos trabajos de investigación que ofrecen resultados contradictorios entre si lo que genera gran expectativa sobre el impacto del estrés térmico asociado a alta incidencia regional de UV e infrarrojo y el vigor de la germinación.

## **Justificación**

Hoy en día muchos agricultores cuentan con algunas dificultades en su siembra por la pérdida de cosecha debido a los cambios climáticos que se han presentado, los cuales alteran las condiciones de suelo y esto difiere con lo que ellos trabajaban regularmente; como consecuencia a esto su economía se ve afectada.

Día con día la mecatrónica nos ayuda a resolver diversos problemas en diferentes ámbitos y siendo el área de la agricultura un sector fuerte en México, se pretende dar una solución mediante el uso de la misma a la problemática antes mencionada. Esto mediante el desarrollo de un robot móvil autónomo, para evitar la intervención directa del hombre que nos proporcione datos sobre la irradiancia incidente y reflejada, para poder así determinar la irradiancia absorbida, la detección de humedad volumétrica en suelo y relativa en aire cuyos parámetros son esenciales en la germinación de una semilla; ya que la humedad está relacionada de manera directa con la energía radiada recibida.

Con esto se pretende ayudar a los productores a determinar las características del suelo obtenidas posteriores al tratamiento y acondicionamiento de un suelo específico, para la apropiada germinación de semillas, así como aquellas relacionadas con el tipo de suelo y cultivo requeridos en base al estudio del impacto de parámetros específicos como la humedad durante el proceso de acondicionamiento de suelos, y el porcentaje de los principales nutrientes con los que cuenta el suelo.

La principal razón de robotizar y automatizar el mecanismo para la recolección y medición de parámetros *in situ* realizados de manera personal, radica en que las tierras acondicionadas suelen no soportar el peso de una persona lo cual genera complicaciones intrínsecas; esta condición se torna relevante cuando los suelos acondicionados se irrigan con aguas residuales o tratadas. Bajo las condiciones descritas es evidente que las condiciones de terreno pueden igualmente dificultar el uso de una red de sensores, ya que estará expuesta a diferentes condiciones meteorológicas que reducen su eficacia. Adicionalmente implicaría una red de comunicación inalámbrica que eleva el costo y se requeriría una red por cada zona y su correspondiente inversión de horas hombre o bien implicaría costos relacionados con el reposicionamiento de la red de sensores, mientras que un mecanismo robotizado puede emplearse en diferentes regiones de interés con características semejantes y bien definidas lo cual reduce la inversión horas-hombre.

# Objetivo

Diseñar y construir un mecanismo basado en un sistema mecatrónico para evaluar la radiación de UV-B y UV-A, así como parámetros de humedad, concentración de ion potasio en suelos de cultivo de maíz.

## Objetivos particulares

### Trabajo Terminal 1

- Diseñar el mecanismo robotizado capaz de trasportar sensores de irradiación solar UV y realizar mediciones de la misma in situ.
- Diseñar el mecanismo de recolección de muestras para evaluar la concentración del principal nutriente para el maíz a saber potasio desarrollando una interfaz de comunicación entre sensores comerciales para este fin y la adquisición y almacenamiento de estos para su posterior análisis.
- Diseñar la interfaz de usuario para determinar la irradiancia refractada a través de la resta entre la radiación incidente y la reflejada en tiempo real vs tiempo a lo largo del día.
- Diseñar y establecer los mecanismos de movilidad del robot para el posicionamiento específico que delimite su desplazamiento en función de las colindancias del terreno de cultivo de interés vía GPS.
- Diseñar una interfaz gráfica que muestre al usuario de manera precisa los valores obtenidos por los sensores, así como las concentraciones de nutriente en función de sus coordenadas al interior del terreno.

### Trabajo terminal 2

- Construir el mecanismo robotizado capaz de trasportar sensores de irradiación solar UV y realizar mediciones de la misma in situ.
- Incorporar al mecanismo elementos mecanizados para la recolección de muestras superficiales de suelo con el fin de determinar parámetros específicos de humedad volumétrica en tierra superficial ( $< 7\text{cm}$ ) y del vs tiempo, temperatura vs tiempo, así como radicación UV a flor de suelo y atenuación de radiación UV vs profundidad ( $< 7\text{cm}$ ).
- Implementar el mecanismo de recolección de muestras para el evaluar concentración del principal nutriente para el maíz a saber potasio desarrollando una interfaz de comunicación entre sensores comerciales para este fin y la adquisición y almacenamiento de estos para su posterior análisis.
- Programar y visualizar la interfaz de usuario la irradiancia refractada a través de la resta entre la radiación incidente y la reflejada en tiempo real vs tiempo a lo largo del día.

- Crear la interfaz de comunicación entre sensores para el procesamiento y gestión de señales de información analógicas y digitales emitidas por los transductores, así como para la recolección y almacenamiento de los datos medidos.
- Implementar una interfaz gráfica que muestre al usuario de manera precisa los valores obtenidos por los sensores, así como las concentraciones de nutriente en función de sus coordenadas al interior del terreno.

## **Enfoque mecatrónico**

### **Antecedentes**

Los antecedentes que se muestran a continuación están relacionados a suelos de cultivo, radiación y sistema móvil respectivamente.

#### **Robot controlado por ordenador**

En este proyecto se desarrolló un robot móvil el cual no se diseñó ni se construyó para desempeñar alguna tarea en específico. El objetivo principal fue que el robot tuviera dos modos de operación, uno en el cual se desplazara de manera autónoma gracias a los sensores que éste posee para poder evitar obstáculos, y el otro modo de operación es que a través de un ordenador reciba ordenes sobre hacia donde debe desplazarse.

El robot fue creado para ser tomado como base en futuros proyectos, se dejaron varios puertos disponibles para que, en un futuro, si es tomado como referencia, cualquier persona pueda acondicionar diferentes sensores o actuadores dependiendo del propósito que le dé al robot [3].

#### **Mediciones de albedo superficial en la Ciudad de México y área metropolitana**

En este estudio se realizaron las mediciones del albedo que se entiende por el porcentaje de radiación que un cuerpo refleja con respecto a la radiación incide sobre él. El principal objetivo fue comparar los resultados obtenidos con los encontrados en literatura.

Las zonas sobre las cuales se realizaron las mediciones fueron el centro de la Ciudad de México, el área metropolitana y zonas de pasto como Ciudad Universitaria. Las mediciones se realizaron con dos diferentes radiómetros los cuales se ubicaron cerca de la estación de monitoreo meteorológico del gobierno de la ciudad. Para determinar el albedo realizaron el cociente de la irradiancia hacia arriba y la irradiancia hacia abajo.

Por último, se muestra una tabla donde se puede observar que para un área no muy alejada los resultados cambian dependiendo del tipo del suelo, estas últimas pruebas se realizaron en un terreno de cultivo; se realizaron las mediciones en suelo seco, suelo ya sembrado de alfalfa y suelo con

cultivos de trigo ya crecidos. Con esto último podemos concluir que, aun siendo un área muy cercana, las características de la radiación cambian y de ellas podemos darnos una idea de que cultivo seleccionar [4].

### **Evaluación de la irradiancia solar superficial derivada de técnicas de modelado en tiempo real y verificación con mediciones terrestres.**

La investigación sobre energía disponible a través de la radiación solar se ha incrementado como resultado de la creciente cantidad de información referente al calentamiento global y sus implicaciones para la humanidad, tales esfuerzos se centran en desarrollar estrategias para determinar el impacto de la radiación en diversas extensiones territoriales [5].

### **Efectos adversos de la radiación UV-B en las plantas que crecen en el oasis de Schirmacher, en la Antártida oriental**

Por otro lado, una cantidad de investigadores han centrado sus esfuerzos en determinar el impacto de la intensidad de radiaciones en el suelo y particularmente en zonas que se acondicionan para ser usadas como plantíos específicos críticos para la alimentación humana y de ganado [6].

### **El tiempo y la intensidad de la exposición a la radiación ultravioleta modulan la resistencia del tomate a la herbivoría mediante la activación de la señalización del ácido jasmónico.**

En el presente trabajo se diseña y construye un mecanismo útil en la determinación de la incidencia de radiación UV en regiones acondicionadas para potenciales plantíos de maíz. Se ha comprobado muy recientemente que el crecimiento de plántulas del maíz se inhibe como resultado de la radiación UV de esta manera el trabajo presentado ofrece una alternativa para registrar e investigar los efectos de la radiación UV en sembradíos en nuestro país al alcance de agricultores que deseen comprender los efectos de esta radiación en sus propios cultivos y desarrollar estrategias para minimizar los efectos. Adicionalmente se pretende que el mecanismo sea portátil con el fin de ser empleado en diversos terrenos por diversos agricultores reduciendo el costo de inversión por exploración [7].

# Capitulado

---

En el Capítulo 1 se muestra la información requerida que servirá para todo el desarrollo del prototipo por medio del marco teórico y procedimental. También nuestro lector tendrá un mejor entendimiento sobre algunos conceptos y métodos a trabajar para su desarrollo de dicho prototipo.

En el Capítulo 2 se procede al desarrollo del sistema, en el cual se detallan las necesidades y requerimientos de este. Se realiza la arquitectura funcional y física mediante el uso de funciones y módulos para obtener el concepto de solución.

En el Capítulo 3 se enfoca al diseño del dominio específico en donde cada uno de los módulos y sistemas propuestos en la arquitectura funcional se van desarrollando detalladamente los elementos que los componen y funcionalidades de cada uno, se muestran las bases teóricas que validan al sistema como son modelos, cálculos y el uso de métodos para la selección de componentes que conforman al sistema mecatrónico.

En el Capítulo 4 entramos a la integración del prototipo, cada uno de los módulos y sistemas se unen y así obtenemos el sistema mecatrónico. También tenemos la validación del concepto de solución y en caso de ser necesario se realizan los cambios en los módulos.

En el Capítulo 5 se efectúa la discusión de resultados obtenidos de la integración de módulos y sistemas, también se incluye una estimación de costos del desarrollo del prototipo.

En el Capítulo 6 se mostraron los resultados obtenidos del detalle, simulaciones e implementación de los módulos.



# CAPÍTULO 1

## Marco de referencia

---

### 1.1. Marco teórico

#### 1.1.1. Suelos de cultivo

El perfil del suelo o de la zona de las raíces, está compuesto normalmente por tres capas de tierra. Estas capas se denominan suelo superficial (tierra vegetal), subsuelo y materia de origen como se muestra en la Figura 1.1. En la capa superior del suelo es donde se desarrolla la mayor parte de la actividad. En esta zona de suelo es donde más labores de labranza y fertilidad se desarrollan [8].



**Figura 1.1** Suelos de cultivo [8].

##### 1.1.1.1. Tipos de suelo

La clasificación de los suelos ha resultado importante desde el inicio de la agricultura ya que siempre ha resultado de gran interés saber cuáles son los suelos con las mejores características para poder cultivar. Es por esto por lo que se han realizado diferentes clasificaciones del suelo para que todas las personas involucradas con actividades relacionadas con éste puedan compartir conocimiento [9].

La Base Referencial Mundial (WRB) realizó la clasificación general de los suelos basada en la Leyenda de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La clasificación que la WRB proporciona se resume en el siguiente cuadro [10].



**Figura 1.2** Principales grupos de suelos en México [10]

La Tabla 1.1 muestra la clasificación general de los suelos según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB).

**Tabla 1.1.** Clasificación general de los suelos según la WRB [10]

<b>Grupos de suelo</b>	<b>Características</b>
Histosoles	Suelos con capas orgánicas muy gruesas.
Antrosoles, Tecnosoles	Suelos con fuerte influencia humana
Criosoles, Leptosoles, Solonetz, Vertisoles, Solonchaks	Suelos con enraizamiento limitado. Fuerte mente influenciados por el agua.
Gleysoles, Andosoles, Podzoles, Plintosoles, Nitisoles, Ferralsoles, Planosoles, Stagnosoles	Suelos regulados por la química de Fe/Al
Chernozems, Kastanozems, Phaeozems, Umbrisoles	Acumulación prolongada de materia orgánica en el suelo mineral superficial.
Durisoles, Gipsisoles, Calcisoles	Suelos de regiones áridas con acumulación de yeso, sílice y carbonato de calcio respectivamente.
Retisoles, Acrisoles, Lixisoles, Alisoles, Luvisoles	Suelos enriquecidos en arcilla en la parte subsuperficial.
Cambisoles, Arenosoles, Fluvisoles, Regosoles	Suelos relativamente jóvenes con muy poco o ningún desarrollo de perfil.

### 1.1.1.2. Humedad de suelo

La humedad juega un rol fundamental en el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El agua del suelo transporta sustancias a través del perfil de este. El régimen de humedad de un suelo determina los tipos de plantas que crecerán en este, afectando además la forma en que se distribuyen las raíces. El contenido de humedad del suelo puede cambiar rápidamente, pudiéndose incrementar en minutos u horas. En contraste, la fase de secamiento puede tomar semanas o meses.

El contenido de humedad de los suelos típicamente se encuentra en un rango de 5 a 50 % cuando se encuentran en su máxima capacidad de retención (capacidad de campo) [11].

Para determinar el porcentaje de humedad existen varios métodos y uno de ellos es en el que se determina la conductividad eléctrica del mismo. La conductividad eléctrica está relacionada con características del suelo, principalmente con su porosidad. Se pueden determinar dos tipos de conductividad eléctrica, la aparente y la de la solución del suelo. Para determinar la conductividad eléctrica de la solución del suelo es necesario tomar una muestra, mientras que la aparente se mide en campo mediante sensores.



**Figura 1.3** Humedad del suelo [11].

### **1.1.1.3. Temperatura del suelo**

La humedad juega un papel muy importante en los procesos químicos, biológicos y físicos que ocurren en el suelo. Desde el punto de vista químico, la humedad transporta sustancias a lo largo del perfil. Esto afecta a las propiedades del suelo como el color, textura, pH y fertilidad. Desde el punto de vista biológico, la humedad determina el tipo de plantas que crecen en un suelo y la manera en la que se distribuyen las raíces.

Desde el punto de vista físico, la humedad del suelo forma parte del ciclo hidrológico. El agua cae sobre la superficie del suelo como precipitación. Esta agua penetra en el suelo en un proceso denominado infiltración. Una vez que el agua se infiltra en el suelo, ésta se almacena en los horizontes, es absorbida por las plantas, asciende por evaporación o desciende a la roca madre subyacente convirtiéndose en agua subterránea [12].



**Figura 1.4** Termómetro que sirve para medir la temperatura del suelo a profundidades de 5, 10, 20, 50 y 100 cm por debajo de la superficie [12].

#### **1.1.1.4. El pH del suelo**

El pH es un parámetro químico que indica si una materia es ácida o básica. La escala de resultados va de a 14. Siendo los suelos de pH 7 neutros, los de más de 7 básicos y los de menos de 7 ácidos. Como más próximo a 0 es el valor, más ácido es el suelo y como más próximo a 14, más básico.

El pH afecta a la disponibilidad de nutrientes y al crecimiento de los cultivos. Los suelos con pH muy extremos no son fértiles ya que no hay nutrientes disponibles para las plantas [13].

El maíz es un cultivo muy remoto de unos 7000 años de antigüedad, de origen indio que se cultivaba por las zonas de México y América central. Hoy día su cultivo está muy difundido por todo el resto de los países y en especial en toda Europa donde ocupa una posición muy elevada. EE. UU. es otro de los países que destaca por su alta concentración en el cultivo de maíz.

Se adapta muy bien a todos tipos de suelo, pero suelos con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

Se efectúa la siembra cuando la temperatura del suelo alcance un valor de 12°C. Se siembra a una profundidad de 5cm. La siembra se puede realizar a golpes, en llano o a surcos. La separación de las líneas de 0.8 a 1 m y la separación entre los golpes de 20 a 25 cm [14].

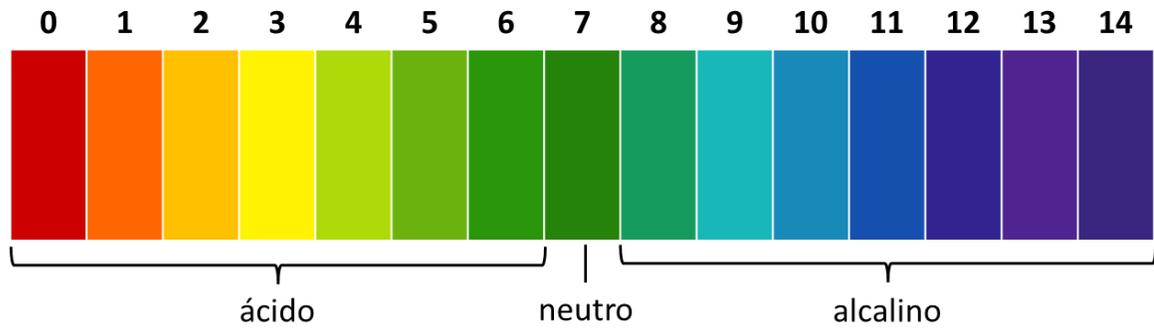


Figura 1.5 Grupos en los que se divide el pH [13].

### 1.1.2. Irradiancia

La irradiancia es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. La irradiancia es la cantidad promedio de energía que incide por unidad de área por unidad de tiempo sobre una superficie. Las unidades en que se mide son las unidades radiométricas y es en  $W/m^2$  [15].

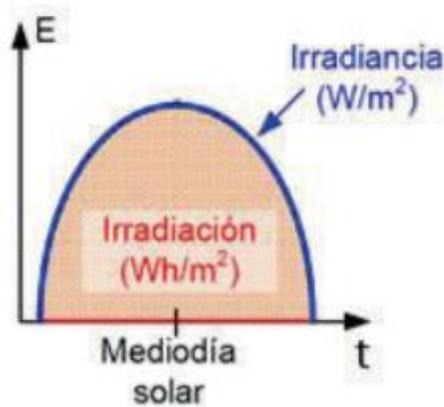


Figura 1.6 Gráfica de irradiancia e irradiación solar [16].

### 1.1.3. El espectro de radiación

Es una representación gráfica de la variación de la energía de radiación en función de la longitud de onda a escala logarítmica.

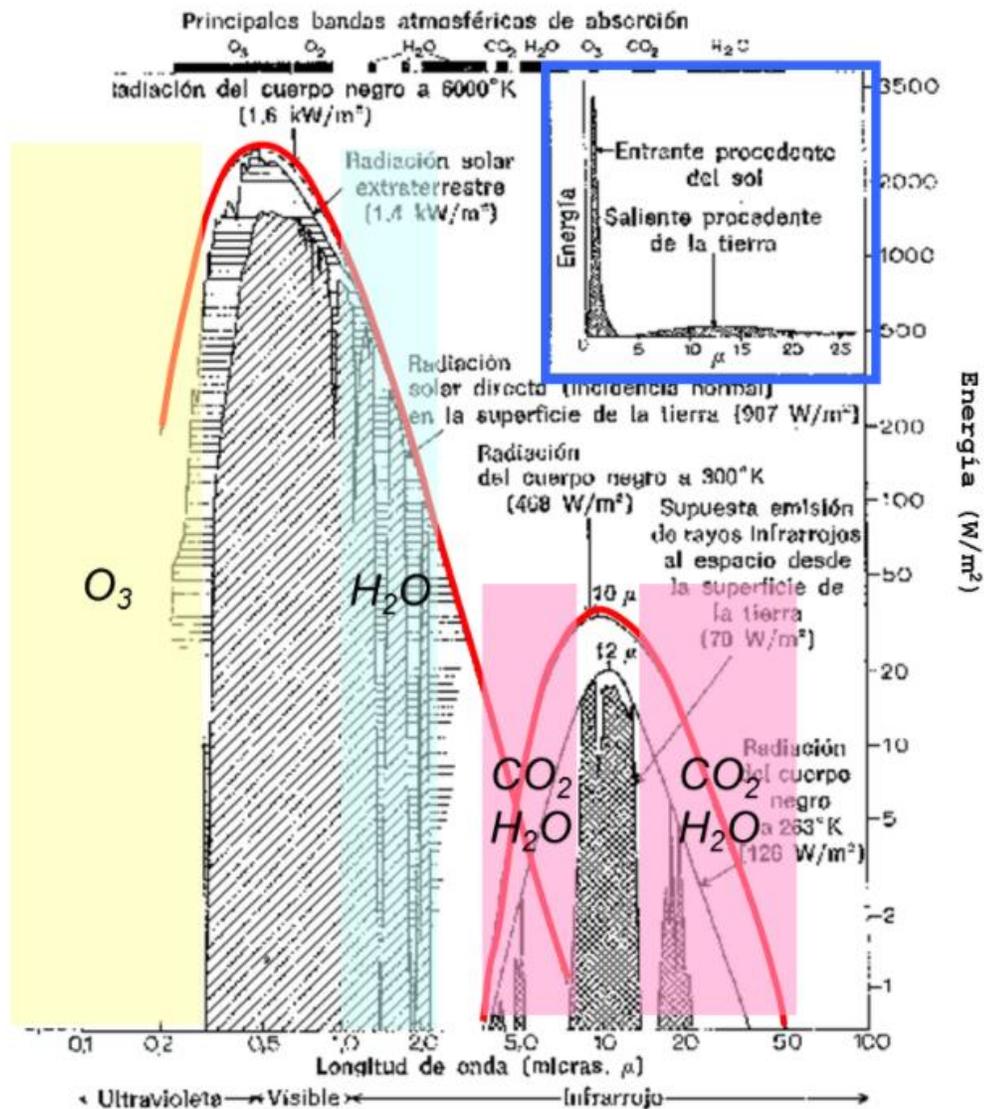


Figura 1.7 Espectro de radiación [17].

El espectro teórico de radiación solar y terrestre alcanza valores más altos que el estimado considerando la atmósfera.

El ozono absorbe la radiación ultravioleta de longitudes de onda menores de 0,3μ.

El vapor de agua absorbe, en menor cantidad, las radiaciones entre 0,9 y 2,1μ.

La energía de radiación emitida por la superficie terrestre es absorbida en gran parte por el dióxido de carbono y el vapor de agua.

La gráfica pequeña de la esquina representa el espectro de radiación solar y terrestre en escala lineal. Se observa que la superficie de ambos espectros es similar [17].

El efecto de las distintas bandas de este espectro sobre los sistemas ambientales y los organismos es muy variado:

- La radiación ultravioleta ( $\lambda < 400$  nm) es absorbida por los electrones de átomos y moléculas, que pueden cambiar así su estructura y producir profundos cambios químicos, como la ionización del N en la atmósfera, la disociación del ozono, o la destrucción de determinadas sustancias en la piel humana.
- La luz visible ( $400 < \lambda < 700$  nm) es la parte del espectro donde la radiación solar alcanza su máximo, y ha tenido por ello un papel destacado en la adaptación de los seres vivos a su medio.
- El infrarrojo ( $700 < \lambda < 1000$  nm) no tienen ya energía suficiente para provocar reacciones químicas, pero sí para inducir movimientos de vibración en las moléculas; a esto es a lo que desde un punto de vista macroscópico llamamos absorción de energía térmica, que se manifiesta casi siempre como un incremento de temperatura.
- Las microondas ( $1000$  nm  $< \lambda < 0.3$  m) inducen movimientos moleculares de rotación, dando lugar a un incremento térmico.

**Tabla 1.2** Distribución de la energía en el espectro solar distintas longitudes de onda [17]

Zona del espectro	Intervalo de longitud de onda (nm)	% de la energía total
Ultravioleta o menor	< 350	4.5
Ultravioleta cercano	350 - 400	4.2
Visible	400 - 700	38.6
Infrarrojo cercano	700 - 1000	22.6
Infrarrojo o menor	> 1000	30.5

### 1.1.3.1. Absorción del espectro de radiación solar

Espectros de irradiación solar en el rango visible, parte del infrarrojo (IR) y ultravioleta (UV) cercanos:

- Espectro de radiación de un cuerpo negro ideal a 6000° K a una distancia de una unidad astronómica de la fuente de emisión (línea negra).
- Espectro de radiación obtenido experimentalmente en el exterior de la atmósfera (línea roja).
- Espectro de radiación recibido a nivel del mar en el mes de septiembre de 1998 a 45° N en el Golfo de Vizcaya (línea marrón).

En la Tabla 1.3 las columnas A muestran las potencias por unidad de área en diversas capas terrestres, en las columnas B se muestra la clasificación de frecuencias UV e IR acompañadas de sus potencias promedio máximas a nivel del suelo registradas en el zenit solar en zonas cercanas al ecuador, así como sus capacidades de penetración en el suelo. N/D indica No Determinado.

La reflectividad de IR depende de la concentración volumétrica de agua en el suelo y de las concentraciones minerales o partículas reflectantes, así que su medición podrá variar significativamente de zona a zona. La abundante vegetación tiene reflectividad muy alta, lo que en general se traduce como un protector de los efectos térmicos de IR en suelo.

**Tabla 1.3** Características generales de la radiación recibida en la tierra y a nivel del mar. [18]

A		B			
Potencia media máxima registrada en días claros		Rediciones de interés para el trabajo	Longitud (nm)	Potencia media en el suelo a nivel del mar (w/m2)*	Nivel de penetración
Incidente extraterrestre	w/m2	UV (C) Ultravioleta de alta energía	100 - 280	Promedio en zenit	Nula
Reflejada estratosfera	341	UV (B) Ultravioleta de media energía	280 - 320	0	Escasa
Reflejada promedio por humedad y aerosoles	107	UV (A) Ultravioleta de baja energía	320 - 400	2	Alta
Absorbida por la atmósfera	77	IR (A)	700 - 1, 400	50	Muy baja con efecto térmico en la superficie
Reflejada por la superficie (promedio)	67	IR (B)	1, 400 - 3, 000	N/D	Media en función de la humedad
Absorbida por el suelo (promedio)	30	IR (C)	3, 000 – 1 mm	N/D	Alta

### **1.1.4. Robot móvil**

Una definición de robot móvil [18] viene de la teoría clásica de robots:

*“Un robot móvil es un vehículo de propulsión autónoma y movimiento (re)programado por medio de control automático para realizar una tarea específica.”*

– Lazea y Lupu, 1997 –

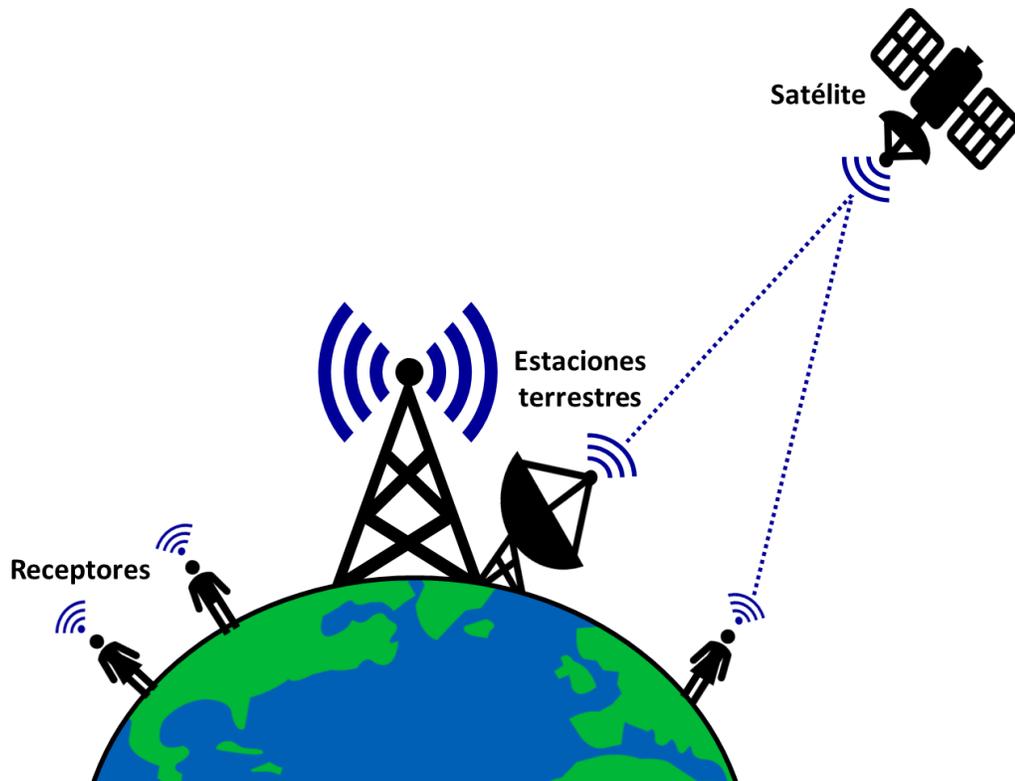
Éstos se pueden clasificar en guiados y no guiados. El vehículo guiado está restringido a un conjunto de trayectorias predefinidas en su área de trabajo. Estando las trayectorias indicadas por líneas ópticas, magnéticas o una secuencia de movimientos guardados en la memoria. El robot en ningún momento puede abandonar la trayectoria.

Los vehículos no-guiados no están restringidos a una trayectoria predefinida. A este tipo de robots no-guiados pertenecen los robots submarinos (bajo el agua), los del espacio aéreo y/o espacial y los terrestres. Los robots terrestres han sido clasificados por su sistema de movimiento en robot con ruedas, con patas o con rieles. Así cada robot desarrolla diferentes tareas de acuerdo con su capacidad.

### **1.1.5. Global Positioning System (GPS)**

Es un servicio que permite a cualquier persona que tenga un receptor GPS saber su posición global. Funciona a través de una red de satélites que orbitan la Tierra [19] los cuales están a cargo de los EE. UU y de estaciones terrestres que monitorean el funcionamiento de los satélites.

Gracias a este sistema se puede determinar la latitud, longitud y altitud de cualquier receptor GPS, esto se logra gracias a que éste recibe las señales emitidas por los satélites, que conocen su propia localización y hora, al identificar la señal de al menos tres satélites diferentes y conocer la posición exacta de ellos se puede determinar la posición del receptor mediante la triangulación de estos datos.



**Figura 1.8** El Sistema de posicionamiento global (GPS) está compuesta por satélites, estaciones terrestres y receptores, [Elaboración propia, 2021].

### 1.1.6. Sistema de barrenamiento

Un barreno es un dispositivo o herramienta utilizado para realizar agujeros o pozos cilíndricos extrayendo el material sólido perforado.

El proceso de barrenado cubre todos los métodos para producir agujeros cilíndricos en una pieza con herramientas de arranque de viruta. Además del taladrado de agujeros cortos y largos.

Con el desarrollo de brocas modernas el proceso de taladrado ha cambiado de manera drástica, porque con las brocas modernas se consigue que un taladro macizo de diámetro grande se pueda realizar en una sola operación, sin necesidad de un agujero previo, ni de agujero guía, y que la calidad del mecanizado y exactitud del agujero evite la operación posterior de escariado.



**Figura 1.9** Juego de brocas.

## **1.2. Descripción del suelo de interés**

La zona de interés para la exploración del robot, consiste en un terreno plano con escasas irregularidades, la zona forma parte de un conjunto de regiones que se encuentran en acondicionamiento e irrigación con aguas residuales y/o tratadas en las que se investiga la concentración de minerales específicos, particularmente el potasio, que resulta benéfico en el cultivo de maíz en cantidades apropiadas, dicha concentración se espera lograr después del proceso de acondicionamiento con aguas residuales y fertilización cíclica, tendientes a lograr la concentración apropiada del ion potasio.

En la Figura 1.10 inferior se muestra una sección representativa de la zona. Se requiere la exploración robotizada debido que el suelo en tratamiento presenta la imposibilidad de soportar el peso promedio de una persona para realizar la exploración de manera personal *in situ* durante el acondicionamiento del suelo, el cual se encuentra altamente hidratado como puede observarse en la misma imagen, pruebas en campo establecen que la máxima carga que puede soportar sin hundimiento es de  $30\text{ kPa}$ , de esta forma es posible estimar que es viable mantener un móvil apoyado en ruedas con un peso no mayor a los tres kilogramos de masa en la zona sin hundirse, considerando que la superficie de contacto por llanta es de aproximadamente  $1\text{ cm}^2$  donde la carga neta del móvil es distribuida en los puntos de contacto de las ruedas con el piso.

El propósito del robot es lograr la recolección de datos específicos al interior de la zona con el fin de evaluar la distribución de concentración del ion, así como la homogeneidad de Hidratación entre otros aspectos mencionados en el presente trabajo, en este caso no se requiere la precisión de una ruta, solo se requiere que el robot regrese a zona firme para ser recuperado por el investigador, el cual pueda extraer los datos manualmente desde el módulo de almacenamiento del robot.

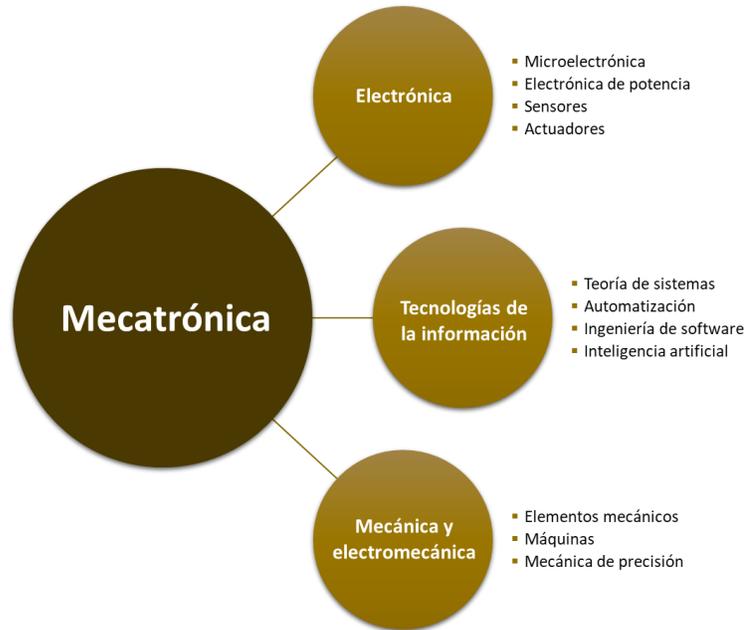


**Figura 1.10** Sección representativa de la zona.

## **1.3. Marco procedimental**

### **1.3.1. Sistema mecatrónico**

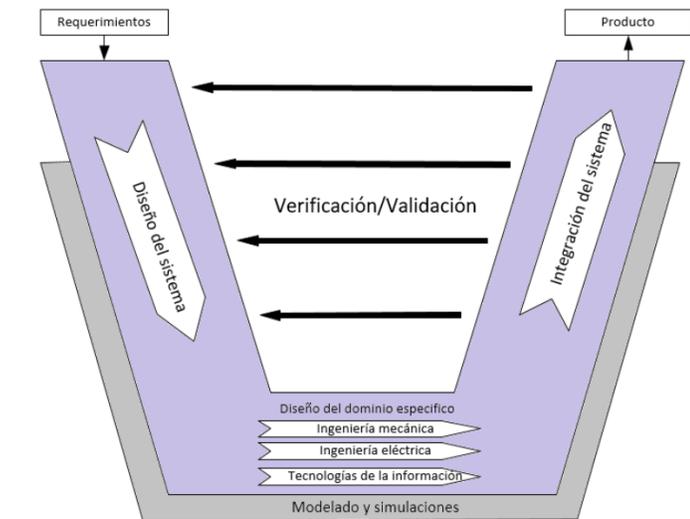
La Mecatrónica surge de la combinación sinérgica de distintas ramas de la ingeniería, entre las que destacan: la mecánica, la electrónica, y el control informático inteligente en el diseño y fabricación de productos y procesos industriales. Es un campo interdisciplinario, en el cual las siguientes disciplinas actúan juntas.



**Figura 1.11** Ramas que conforman la ingeniería mecatrónica, [Elaboración propia, 2021]

### 1.3.2. Metodología diseño mecatrónico modelo VDI 2206

Con respecto a la metodología utilizada para la formulación de este proyecto se utilizó la metodología VDI 2206 la cual describe el procedimiento genérico para el diseño de sistemas mecatrónicos, sigue una secuencia en V, partiendo de las necesidades del cliente hasta la división de subsistemas que se integran en un todo.



**Figura 1.12** Diagrama de metodología VDI 2206.

Para el diseño de un sistema mecatrónico, debe seguirse una serie de pasos, a continuación, se agrupan las etapas a para el desarrollo de la metodología seleccionada.

### **1.3.2.1. Diseño del sistema**

Identificación de necesidades del cliente y aquellas que intervengan en la funcionalidad del sistema, transformación de necesidades a requerimientos, es decir, lo que tendrá que cumplir el sistema dentro de cotas establecidas, identificación de funciones, se describe el comportamiento del sistema a partir funciones y subfunciones que satisfacen los requerimientos. Definición de sistemas, las funciones pasan de un dominio lógico a uno físico, lo cual quiere decir, que, para cada uno de los sistemas propuestos, se tendrán componentes físicos como ensambles, módulos, dispositivos, etc.

### **1.3.2.2. Diseño del dominio específico**

Se requiere comenzar a buscar soluciones que permitan cumplir su funcionamiento, por lo cual se hace un proceso de selección de componentes, materiales y procesos de manufactura, según lo requiera para cada uno de los módulos propuestos.

### **1.3.2.3. Integración del sistema**

En esta etapa se realiza la integración de componentes a los sistemas definidos anteriormente de forma jerárquica, al final de la etapa se llega a la integración del sistema mecatrónico. Integración de hardware, se realiza la unión de los componentes físicos, cableado, uniones mecánicas, ensambles, etc. Integración de software, se realiza la unión de los componentes a través de información o energía. Durante la etapa de integración se requiere del diseño de nuevos componentes o modificación según se requiera, para asegurar la integración y el funcionamiento del sistema. Finalmente se ve la operación del sistema y la producción de mismo si es posible.

### **1.3.2.4. Modelado y simulación**

Esta etapa se encuentra presente durante el diseño conceptual, así como en la integración del sistema, ya que garantiza que las decisiones que se están tomando tienen un sustento, así como el desarrollo de los siguientes puntos:

- Modelos matemáticos que satisfagan al sistema.
- Algoritmos y diagramas para los procesos de control y procesamiento de información.
- Simulaciones del software de programación.
- Simulaciones y modelos de diseño (CAD).

- Simulaciones de procesos de manufactura (CAM) si existe la necesidad de manufacturar componentes.

### 1.3.2.5. Validación y verificación

La etapa de validación y verificación es un proceso transversal o paralelo, ésta se desarrolla durante el proceso de diseño, para que la integración de sistema sea armónica. La validación determina si se está diseñado correctamente el sistema y su desempeño va de acuerdo con las necesidades y requerimientos definidos durante el diseño del sistema. La verificación se centra en los componentes físicos, las coincidencias entre componentes y ensambles a módulos y finalmente al sistema mecatrónico. Durante esta etapa es necesario el uso herramientas que validen tanto componentes físicos como de software han sido diseñados correctamente, como análisis de sistema, estructura de sistema, análisis de valor de ingeniería, procesos de manufactura y ensamble, etc.

### 1.3.3. Modelado de funciones (IDEF0)

Integrated Definition Language (IDEF0) es usado para la descripción de procesos gráficamente, el IDEF0 está constituido por una función o actividad, para ser representada debe haber una entrada: materia o información que será transformada; salida: materia o información producida de esa actividad o función; control: objetos que regulan si la actividad se cumple o no adecuadamente; mecanismos: son los recursos necesarios para cumplir la actividad, una actividad puede no tener mecanismos.

Cada una de las actividades son agrupadas en diagramas, a continuación, se muestra un ejemplo de una actividad del diagrama IDEF0.



Figura 1.13 Representación a bloque de una actividad para un modelo IDEF0

### **1.3.4. Método de selección AHP**

El AHP es una metodología para estructurar, medir y sintetizar. Utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones, y usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel inmediatamente superior.

Fue desarrollado a finales de los 60 por Thomas Saaty, quien a partir de sus investigaciones en el campo militar y su experiencia docente formuló una herramienta sencilla para ayudar a las personas responsables de la toma de decisiones [20].

### **1.3.5. Análisis morfológico**

El análisis morfológico se usa para la generación de ideas, en el análisis mecatrónico esto se hace para determinar cada uno de los módulos o sistemas propuestos, las ideas generadas están relacionadas a las geometrías, ubicaciones, métodos y mecanismos que pueden usarse a fin de originar una o más propuestas que después serán evaluadas.

### **1.3.6. Ruta de decisiones**

La ruta de decisión es un método de selección que facilita ofrecer soluciones efectivas y productos complementarios a las distintas necesidades que un cliente pueda tener.

# CAPÍTULO 2

## Diseño del sistema

---

### 2.1. Diseño conceptual

El presente capítulo se plantea la propuesta de solución que al integrarse cumpla la función requerida del sistema. Las propuestas se evalúan en base a marco procedimental para determinar una combinación óptima.

## 2.2. Caracterización del prototipo de robot móvil

El sistema está pensado como apoyo a la investigación básica generada a través de proyectos de investigación auspiciados por el IPN. Para este fin el prototipo debe cumplir con especificaciones dadas por los futuros usuarios, en función del uso deseado para el prototipo y el ambiente en el que operará. En la Tabla 2.1 se agrupan dichos requerimientos.

**Tabla 2.1** Características del robot móvil, [Elaboración propia, 2021].

<b>Necesidad</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Requerimiento</b>
Un sistema móvil que pueda realizar un registro de datos en formato txt o Excel, determinados a partir de sensores específicos para obtener valores de humedad, temperatura, intensidad (w/m <sup>2</sup> ) de IR, de UV, y concentración de ion potasio en puntos dentro de un área de sembradío.	Es necesario un sistema móvil parcialmente robotizado que se desplace dentro de un perímetro específico tomando registros en puntos específicos a saber coordenadas definidas dentro de una superficie determinada.	Mecanismo móvil capaz de transportar el sistema de recolección de datos basado en sensores de parámetros fisicoquímicos definidos y realizar mediciones in situ para su posterior tratamiento estadístico de datos. (no incluidos en el presente trabajo)
Velocidad apropiada para obtener tiempos de muestreo de 1 hora máximo en terrenos de hasta 1 hectárea.	El sistema puede obtener muestreo en puntos cercanos a las coordenadas definidas, pero no salir de la superficie definida.	Se desea obtener acercamientos no mayores a la perimetral del área de registro.
El móvil debe tener una autonomía de 2 horas en actividad trasportando una carga máxima de 2.5 kilogramos.	El sistema deberá tener la autonomía energética necesaria para lograr la recolección de datos en la zona definida y entregar un registro de datos duros después del recorrido definido por el investigador.	El mecanismo debe tener las propiedades de resistencia mecánicas y energéticas necesarias más un sistema de posicionamiento simple capaz de seguir una ruta con retorno a una línea definida por el usuario a través de una poligonal abierta y que registre la coordenada geo referenciada del punto de partida para efectos de reporte técnico del muestreo.

**Tabla 2.2** Requerimientos normativos de prototipo, [Elaboración propia, 2021].

<b>Necesidad</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Requerimiento</b>
El sistema debe ofrecer la capacidad para garantizar la empleabilidad satisfactoria basada en una fuente de energía móvil.	Es necesario determinar el consumo energético de los componentes más la movilidad del prototipo en base a las características eléctricas y electrónicas de los componentes.	El sistema debe protegerse del medio ambiente para evitar deterioro y posibles fallas por humedad.

**Tabla 2.3** Requerimientos administrativos, [Elaboración propia, 2021].

<b>Necesidad</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Requerimiento</b>
Prototipo económicamente accesible	Costo cercano a la inversión de sensores desconectados (un 20% mayor)	Costo inferior a 15,000

## 2.3. Necesidades y requerimientos

El conjunto de necesidades y aspectos a cubrir, pueden clasificarse en funcionales y no funcionales. Las primeras abordan aspectos relacionados con la utilidad que satisface requerimientos del sistema mientras que las no funcionales otorgan atributos que favorecen el comportamiento del sistema, pero no son parte clave del funcionamiento.

Para identificar la necesidad se debe:

- Establecer un consenso acerca de los aspectos que han de resolverse con la propuesta.
- Identificar los beneficios que se obtendrán.
- Definir criterios de aceptación.

Bajo esos criterios se definen las siguientes necesidades mostradas en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Necesidades identificadas del sistema, [Elaboración propia, 2021].

<b>N</b>	<b>Necesidad</b>	<b>Clasificación</b>
N1	Movimiento autónomo para desplazarse preestablecido	Funcional
N2	Movimiento automático para barrenar	Funcional
N3	Toma de las muestras	Funcional
N4	Monitoreo de la muestra	Funcional
N5	Control encendido/apagado	Funcional
N6	Análisis de muestras	No funcional
N7	Visualización de datos en un interfaz	No funcional
N8	Fácil mantenimiento	No funcional

### 2.3.1. Requerimientos

A continuación, se establecen requerimientos mínimos sugeridos (Tabla 2.5). Los requerimientos son una transformación de las necesidades, representan una condición o capacidad que debe cumplir el sistema, se encuentran dentro de una cota identificado, por el usuario las cuales pueden ser modificados durante el desarrollo del proyecto y algunos otros se encuentran restringidas por especificaciones de diseño. Al igual que las necesidades pueden ser clasificados en funcionales y no funcionales.

**Tabla 2.5** Requerimientos del sistema, [Elaboración propia, 2021].

R	Requerimiento	Valor	Clasificación
R1	Dimensiones máximas	35x25x20 cm	No funcional
R2	Capacidad de carga	2.5 kg	No funcional
R3	Dimensiones del barreno	10 cm	Funcional
R4	Peso del sistema de barrenado	1.5 kg	Funcional
R5	Rango de movimiento en z	10 cm	Funcional
R6	Velocidad de desplazamiento	-	Funcional
R7	Diseño de interfaz	Matlab	Funcional
R8	Suministro energético	12v	Funcional
R9	Muestreo	Temperatura, humedad, ion de potasio, UV	Funcional
R10	Arquitectura del sistema	Modular	No funcional

### 2.3.2. Validación de necesidades-requerimientos

En la Tabla 2.6 se observa la relación que existe entre las necesidades y requerimientos anteriormente descritas.

**Tabla 2.6** Matriz de trazabilidad necesidades-requerimientos, [Elaboración propia, 2021].

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
N1	X					X		X		
N2		X	X		X			X		
N3			X				X			
N4							X			
N5								X		
N6									X	
N7							X			
N8				X						X

## 2.4. Arquitectura funcional

Ya que contamos con los requerimientos y necesidades se procede a la etapa funcional, donde se describe el funcionamiento y comportamiento del sistema mecatrónico.

### 2.4.1. Descomposición de funciones

Considerando los requerimientos expuestos en los apartados anteriores, se propone el diseño y construcción de un prototipo en el cual se puedan programar las rutinas de posicionamiento de sensores, de registro de datos obtenidos a partir de los sensores y el movimiento autónomo del prototipo. De esta manera se asocia un consumo de energía de activación que integre todas las partes funcionales tanto mecánicas como electrónicas. En la Figura 2.1 se muestra la función principal del prototipo con las respectivas entradas y salidas.

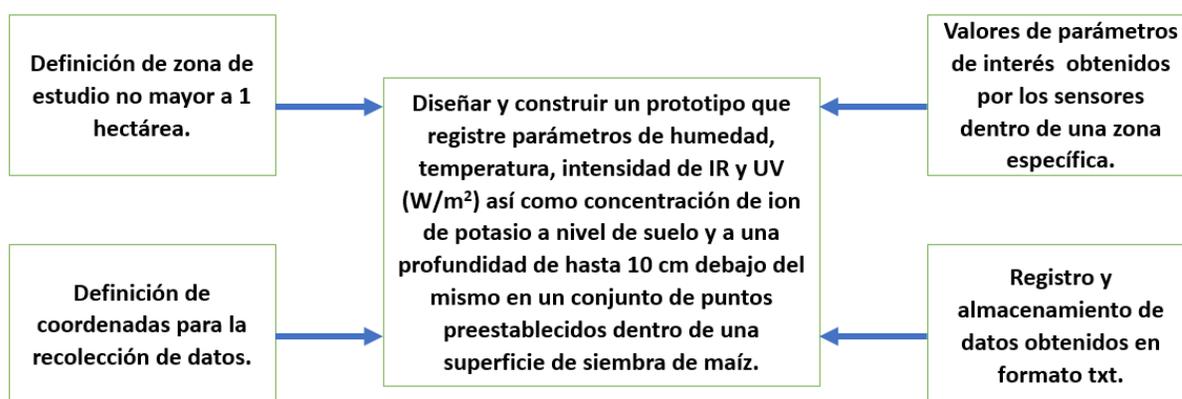
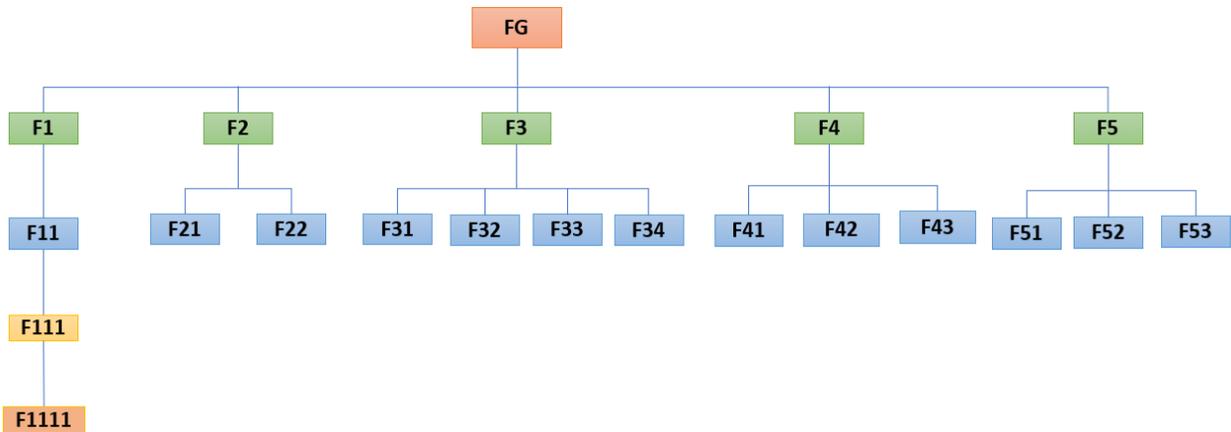


Figura 2.1 Función principal, [Elaboración propia, 2021].

Se identificó la función general (FG) del sistema y las subfunciones que permitirán desempeñar las tareas del robot móvil, se realizó un diagrama FBS (Functional Breakdown Structure) que nos permite ordenar las funciones jerárquicamente y describir el comportamiento del sistema mostrado en la figura, con cada función propuesta.



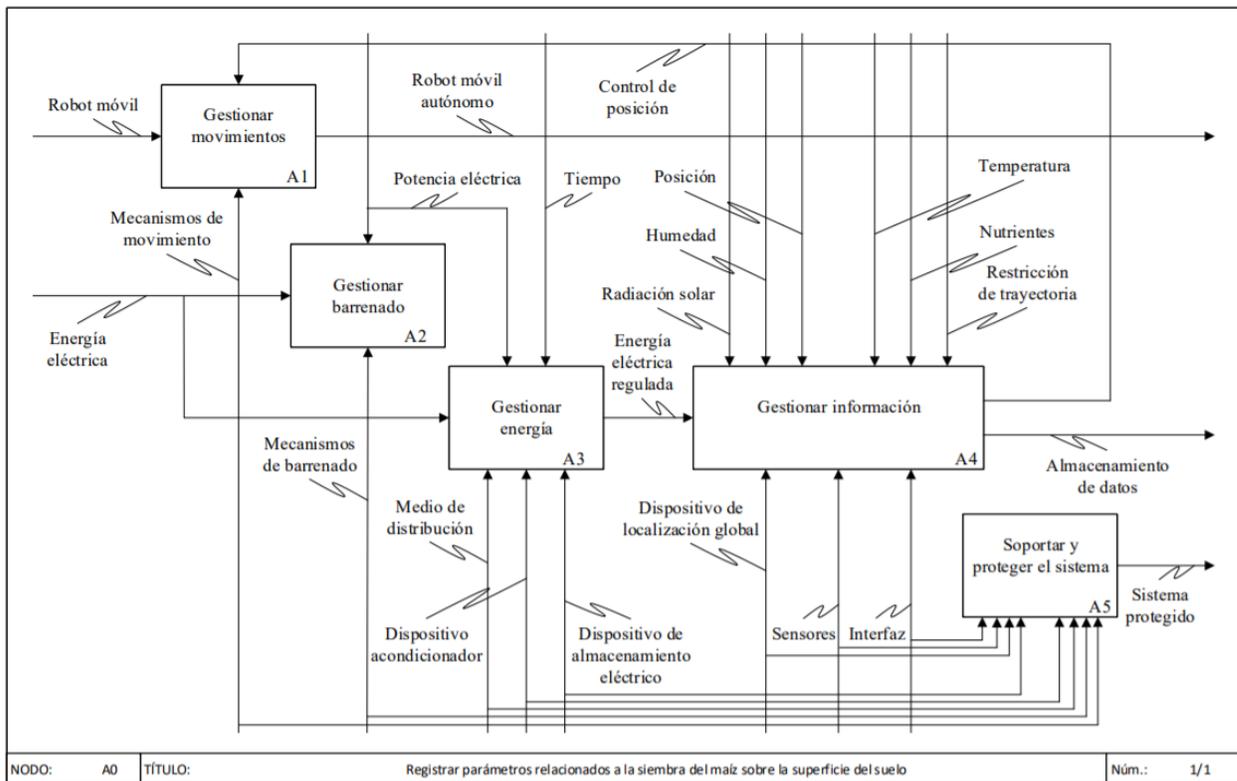
**Figura 2.2** Diagrama de estructura de funciones, [Elaboración propia, 2021].

- **FG** Sistema mecatrónico para determinar la radiación de UV-B y UV-A, así como parámetros de humedad, concentración de ion potasio en suelos de cultivo de maíz.
- **F1** Barrenado; La función se encarga de hacer la penetración del suelo.
  - **F11** Desplazar componentes
  - **F111** Accionar motor
  - **F1111** Barrenar
- **F2** Movimiento del robot móvil; La función se encarga de desplazar el robot móvil sobre los suelos de cultivo siguiendo una trayectoria vectorial definida por el usuario cuyo punto de partida es señalizado por geo referencia vía GPS.
  - **F21** Desplazar en x
  - **F22** Desplazar en y
- **F3** Adquisición de los parámetros del suelo; La función se encarga de medir los parámetros de los suelos de cultivo.
  - **F31** Obtener la humedad
  - **F32** Obtener la temperatura
  - **F33** Obtener ion de potasio
  - **F34** Obtener UV+IR
- **F4** Transferencia y almacenamiento de datos; La función se encarga de enviar los datos obtenidos a una computadora para su almacenamiento.
  - **F41** Enviar datos

- **F42** Recepción de datos
  - **F43** Almacenamiento de datos
- **F5** Suministro energético; La función se encarga de suministrar energía a los motores, sensores y al controlador.
- **F51** Suministro a motores
  - **F52** Suministro a sensores
  - **F53** Suministro al controlador

### 2.4.2. Modelo de procesos de funciones IDEF-0

En la Figura 2.3 se muestra la relación de funciones que describen al sistema mediante el modelo para procesos de funciones DEF-0. En el nodo A5 soporte y protección es donde se engloban todas las funciones para el correcto funcionamiento del sistema, en el nodo A3 contamos con todo el suministro de energía necesaria para cada parte del sistema y los nodos restantes A4, A2 y A1 nos refieren el comportamiento del sistema por cada paso que sigue el sistema.



**Figura 2.3** Modelo IDEF0 del sistema, [Elaboración propia, 2021].

### 2.4.3. Validación de requerimientos-funciones

En la Tabla 2.7 se realizó la matriz de trazabilidad funciones-requerimientos en la cual cada función está relacionada a por lo menos a un requerimiento.

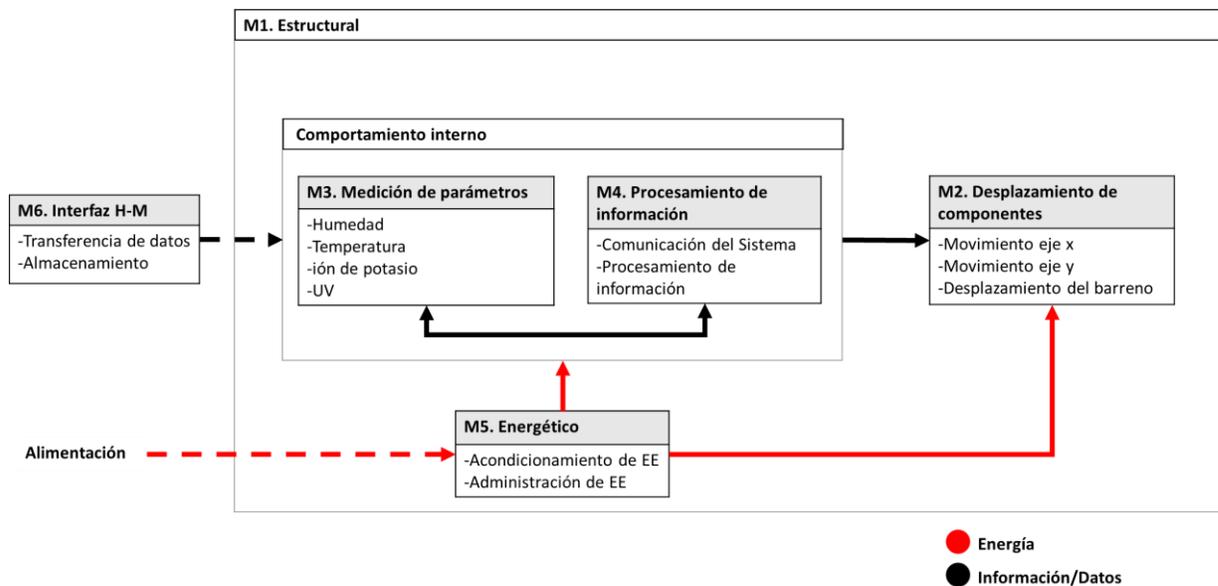
**Tabla 2.7** Matriz de trazabilidad requerimientos-funciones, [Elaboración propia, 2021].

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
F1			X	X	X					
F11	X					X				
F111								X		
F111			X	X	X					
F2		X				X				
F21						X				
F22						X				
F3									X	
F31									X	
F32									X	
F33									X	
F34									X	
F4							X			
F41							X			
F42							X			X
F5							X	X		X
F51								X		X
F52								X		
F53								X		

## 2.5. Arquitectura física

### 2.5.1. Modelado de la arquitectura física

En el dominio físico se lleva la transformación de funciones que debe realizar el sistema a componentes físicos. En el diagrama de la Figura 2.4 se observa la descomposición en módulos que se integrarán en el sistema mecatrónico y se muestran algunos de los puntos principales que deberá realizar cada módulo.



**Figura 2.4** Diagrama a bloques de la arquitectura física, [Elaboración propia, 2021].

- **M1.** Estructural: Abarca todos los componentes para el muestreo, procesamiento de datos y sistema energético.
- **M2.** Desplazamiento de componentes: desplaza el robot móvil sobre los suelos de cultivo siguiendo una trayectoria vectorial definida por el usuario cuyo punto de partida es señalado por geo referencia vía GPS y acciona el sistema de barrenado.
- **M3.** Medición de parámetros: Módulo ligado al M4, se encarga de tomar las muestras y distribuirla a los módulos según los algoritmos diseñados.
- **M4.** Procesamiento de información: Genera la comunicación con el sistema y procesa la información.
- **M5.** Energético: Distribuye alimentación eléctrica a cada módulo.
- **M6.** Interfaz hombre máquina: Se lleva a cabo la transferencia de datos y su almacenamiento.

## 2.5.2. Validación de funciones-módulos

Tabla 2.8 Matriz de funciones-módulos, [Elaboración propia, 2021].

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
F1		X				
F11		X				
F111		X				
F1111		X				
F2		X				
F22		X				
F3	X		X			
F31	X					
F32	X					
F33	X					
F34	X					
F4				X		X
F41				X		X
F42				X		X
F43				X		X
F5					X	
F51					X	
F52					X	
F53					X	

## 2.6. Propuestas de solución

### 2.6.1. Generación de conceptos

Con los módulos que se generaron en la arquitectura funcional se proponen las características para el sistema mecatrónico sumándose a las que ya estaban mediante un análisis morfológico, en la Tabla 2.9 se enlistan las características y funciones específicas por módulo.

**Tabla 2.9** Características asociadas a cada módulo del sistema, [Elaboración propia, 2021].

Módulo	Funciones	Características
M1 Estructural	C11	Geometría de la carcaza
	C12	Forma de protección del sistema energético
	C13	Forma de protección del sistema informático
	C14	Forma de protección del sistema de movimiento
M2 Gestionar movimientos	C21	Mecanismo del movimiento del eje x
	C22	Método de movimiento del eje x
	C23	Mecanismo del movimiento del eje y
	C24	Método de movimiento del eje y
	C25	Ubicación de los componentes de movimiento
M3 Gestionar barrenado	C31	Geometría del cortador
	C32	Movimiento del barrenado
	C33	Método del barrenado
	C34	Ubicación de los elementos del barrenado
M4 Gestionar energía	C41	Ubicación del sistema energético
	C42	Método de distribución de energía eléctrica
M5 Gestionar información	C51	Ubicación del procesador
	C52	Ubicación de transferencia y almacenamiento de datos
	C53	Método de transmisión de datos
	C54	Posicionamiento de los sensores
	C55	Ubicación del dispositivo GPS

Continuando con el análisis morfológico para cada una de las características propuestas, a continuación, se presenta las diferentes alternativas que se sugieren para llevar a cabo las funciones del prototipo. Se asume que cada una de ellas es realizable, aunque no implica que sea la mejor para el cumplimiento de los requerimientos establecidos anteriormente. Por esta razón, en las siguientes secciones se plantea el procedimiento para su selección.

**Tabla 2.10** Análisis morfológico, [Elaboración propia, 2021]

<b>Id</b>	<b>Función</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>
1	Ingresar rutina de operación	Teclado Tablet o laptop	Pantalla táctil	Interfaz USB
2	Sistema para la señal de control (algoritmo de posicionamiento de móvil y sensores).	Microcontrolador.	Tarjeta de desarrollo.	Construcción de circuito de placa simple.
3	Acondicionar suministro de energía.	Celda solar (12 V)	Batería plomo (12 V)	Batería ciclo profundo (12 V)
4	Etapas de conversión de energía eléctrica a mecánica para móvil y posicionador de sensores.	Motores CD (15 w)	Motorreductores (15 w)	Combinación motores CD y motores a pasos (15 w)
5	Definición de trayectoria de muestreo.	Algoritmo para secuencia de desplazamientos vectoriales.	Sistema de posicionamiento remoto vía GPS.	Sistema de posicionamiento por radiocontrol.
6	Móvil para transporte de sensores y recolección de muestras.	Diseño y construcción personalizado de móvil.	Selección y adaptación de la plataforma básica un móvil existente en el mercado.	Reconversión de plataforma de móvil radio control existente en el mercado.

## 2.6.2. Objetivos ponderados

En esta sección se desarrolla el método de objetivos ponderados que consiste en la evaluación sistemática de las soluciones a través de una escala cuantitativa. Resulta necesario definir los criterios de selección por cada función y su importancia relativa respecto a los demás. [19]

Dicho lo anterior, los criterios de selección son los siguientes:

1. Costo lo más bajo posible que cubra los requerimientos del proyecto.
2. Intuitivo y de baja complejidad que reduzca costos de mantenimiento y fácil de manipular por el usuario.
3. Que el sistema sea capaz de realizar al menos un muestreo en trayectorias paralelas de ida y vuelta dentro de la zona seleccionada.

## 2.6.3. Evaluación de los criterios de la Función

### 2.6.3.1. Barrenado

La función de barrenado se encarga de hacer la penetración del suelo.

Se requiere que el mecanismo de barrenado sea de bajo costo, muy intuitivo y completamente factible para realizar las tareas adecuadamente.

**Tabla 2.11** Escala de evaluación de los criterios de la función 1, [Elaboración propia, 2021].

Calificación	Costo (MXN)	Intuitivo	Factibilidad
9	<300	Muy fácil	Completamente
7	301-550	Fácil	Casi completamente
5	551-750	Media	Parcialmente
3	751-1000	Difícil	Casi nada
1	>1000	Muy Difícil	Nada

### 2.6.3.2. Movimiento del robot móvil.

La función se encarga de desplazar el robot móvil sobre los suelos de cultivo siguiendo una trayectoria vectorial definida por el usuario cuyo punto de partida es señalado por geo referencia vía GPS.

El prototipo debe de tener una autonomía simple de fácil implementación y una factibilidad completamente.

**Tabla 2.12** Escala de evaluación de los criterios de la función 2, [Elaboración propia, 2021].

Calificación	Autonomía	Implementación	Factibilidad
9	Muy simple	Muy fácil	Completamente
7	Simple	Fácil	Casi completamente
5	Medianamente simple	Media	Parcialmente
3	Compleja	Difícil	Casi nada
1	Muy compleja	Muy Difícil	Nada

### 2.6.3.3. Adquisición de los parámetros del suelo.

La función se encarga de medir los parámetros de los suelos de cultivo, para esto requerimos un mantenimiento muy fácil con una implementación y un daño por bloqueo de piedras bajo.

**Tabla 2.13** Escala de evaluación de los criterios de la función 3, [Elaboración propia, 2021].

Calificación	Mantenimiento	Implementación	Daño por bloqueo de piedras
9	Muy fácil	Muy fácil	Muy bajo
7	Fácil	Fácil	Bajo
5	Media	Media	Medio
3	Difícil	Difícil	Alto
1	Muy Difícil	Muy Difícil	Muy alto

### 2.6.3.4. Transferencia y almacenamiento de datos.

La función se encarga de enviar los datos obtenidos a una computadora para su almacenamiento.

Requerimos de un diseño casi completamente simple con una implementación fácil y una dificultad del lenguaje fácil.

**Tabla 2.14** Escala de evaluación de los criterios de la función 4, [Elaboración propia, 2021].

Calificación	Diseño simple	Implementación	Dificultad del lenguaje
9	Completamente	Muy fácil	Muy fácil
7	Casi completamente	Fácil	Fácil
5	Parcialmente	Media	Media
3	Casi nada	Difícil	Difícil
1	Nada	Muy Difícil	Muy Difícil

### 2.6.3.5. Suministro energético.

La función se encarga de suministrar energía a los motores, sensores y al controlador, se pretende un costo por los \$301 y \$550, con un mantenimiento fácil y una facilidad para distribuir energía completamente.

**Tabla 2.15** Escala de evaluación de los criterios de la función 5, [Elaboración propia, 2021].

Calificación	Costo (MXN)	Mantenimiento	Facilidad para distribuir energía
9	<300	Muy fácil	Completamente
7	301-550	Fácil	Casi completamente
5	551-750	Media	Parcialmente
3	751-1000	Difícil	Casi nada
1	>1000	Muy Difícil	Nada

A continuación, se muestra la Tabla 2.16 los criterios de selección de cada una de las funciones los cuales nos van a ayudar a obtener los pesos y así seleccionar la combinación más adecuada de acuerdo con los criterios.

**Tabla 2.16** Criterios de selección y sus funciones correspondientes, [Elaboración propia, 2021].

Función	Criterio de selección	Id
Barrenado	Costo (MXN)	1
	Intuitivo	2
	Factibilidad	3
Movimiento del robot móvil	Autonomía	4
	Implementación	5
	Factibilidad	6
Adquisición de los parámetros del suelo	Mantenimiento	7
	Implementación	8
	Daño por bloqueo de piedras	9
Transferencia y almacenamiento de datos	Diseño simple	10
	Implementación	11
	Dificultad del lenguaje	12
Suministro energético	Costo (MXN)	13
	Mantenimiento	14
	Facilidad para distribuir energía	15

La Tabla 2.17 ilustra el procedimiento para obtener los pesos mencionados. De cada par de criterios se determina el que tenga mayor prioridad al colocar un uno (mayor prioridad) o un cero (menor prioridad).

**Tabla 2.17** Asignación de los pesos relativos de los criterios de selección, [Elaboración propia, 2021].

Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total	Peso relativo
1	-	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	6	5.7
2	1	-	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2.83
3	1	1	-	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	7	6.60
4	1	1	1	-	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	10	9.43
5	1	1	1	1	-	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	11	1.03
6	1	1	1	0	0	-	1	1	1	0	0	1	1	1	0	9	8.5
7	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.94
8	0	1	1	1	1	0	1	-	1	1	1	1	1	1	0	11	1.03
9	1	1	1	0	0	0	1	0	-	1	0	1	1	1	0	8	7.54
10	0	1	0	1	0	1	1	0	0	-	0	1	1	1	0	7	6.60
11	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	-	1	1	1	0	11	1.03
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1	0	1	0.94
13	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-	1	0	5	4.71
14	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-	0	2	1.9
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	14	1.32
<b>Total</b>																106	100

## 2.6.4. Método de selección concepto de solución

### 2.6.4.1. Selección del diseño conceptual

A continuación, se presentan las Tabla 2.18, Tabla 2.19 y Tabla 2.20 con las combinaciones posibles que tentativamente son las más viables:

**Tabla 2.18** Diseño conceptual 1, [Elaboración propia, 2021].

<b>Función general</b>	<b>Soluciones sugeridas</b>
Ingresar rutina de operación	Interfaz USB
Definir el sistema para la señal de control (algoritmo de posicionamiento de móvil y sensores)	Tarjeta de desarrollo
Acondicionar suministro de energía	Batería plomo (12 V)
Etapa de conversión de energía eléctrica a mecánica para móvil y posicionador de sensores	Combinación motores CD y motores a pasos (15 w)
Definición de trayectoria de muestreo	Algoritmo para secuencia de desplazamientos vectoriales
Móvil para transporte de sensores y recolección de muestras	Diseño y construcción personalizado de móvil

**Tabla 2.19** Diseño conceptual 2, [Elaboración propia, 2021].

<b>Función general</b>	<b>Soluciones sugeridas</b>
Ingresar rutina de operación	Pantalla táctil
Definir el sistema para la señal de control (algoritmo de posicionamiento de móvil y sensores)	Construcción de circuito de placa simple
Acondicionar suministro de energía	Batería de ciclo profundo (12 V)
Etapa de conversión de energía eléctrica a mecánica para móvil y posicionador de sensores	Motorreductores (15 w)
Definición de trayectoria de muestreo	Sistema de posicionamiento remoto vía GPS
Móvil para transporte de sensores y recolección de muestras	Selección y adaptación de la plataforma básica un móvil existente en el mercado

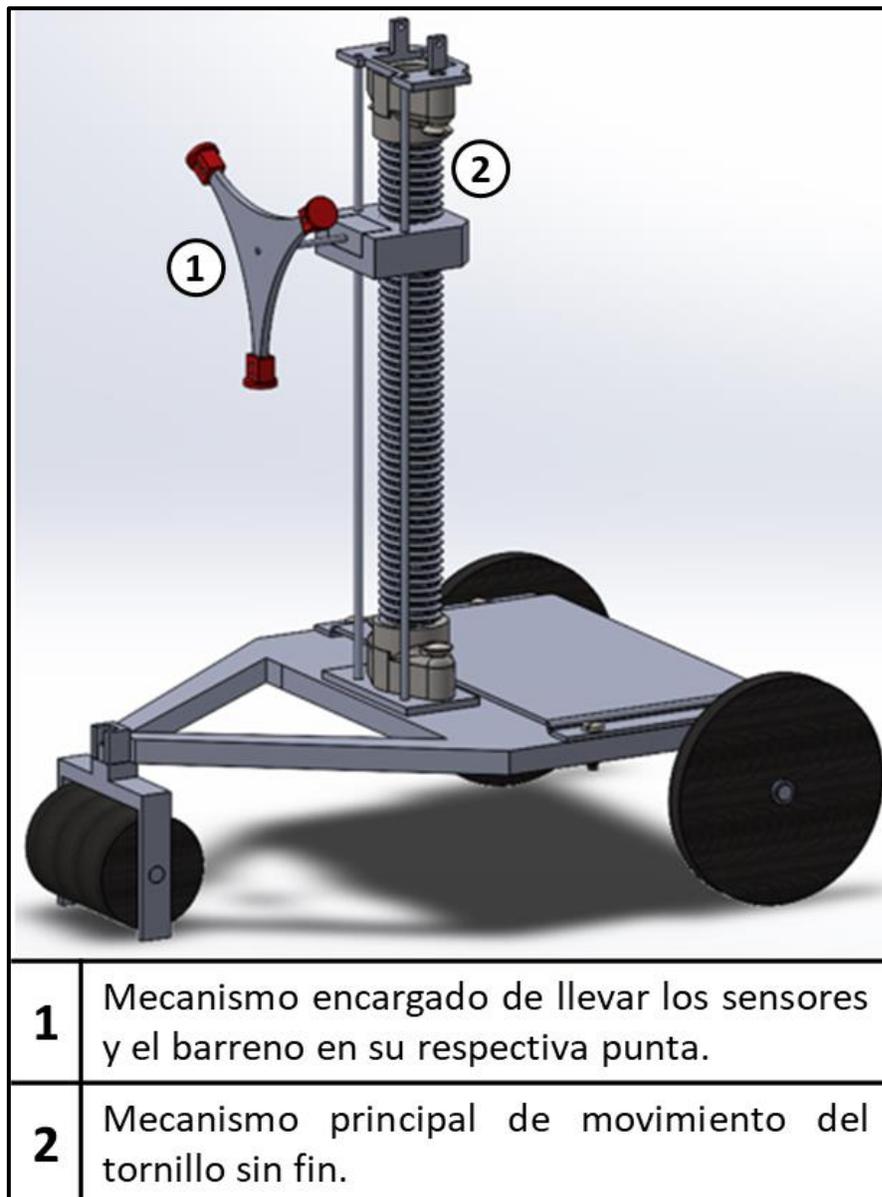
**Tabla 2.20** Diseño conceptual 3, [Elaboración propia, 2021].

<b>Función general</b>	<b>Soluciones sugeridas</b>
Ingresar rutina de operación	Teclado Tablet o laptop
Definir el sistema para la señal de control (algoritmo de posicionamiento de móvil y sensores)	Microcontrolador
Acondicionar suministro de energía	Celda solar (12 V)
Etapa de conversión de energía eléctrica a mecánica para móvil y posicionador de sensores	Motores CD (15 w)
Definición de trayectoria de muestreo	Sistema de posicionamiento por radiocontrol
Móvil para transporte de sensores y recolección de muestras	Reconversión de plataforma de móvil radio control existente en el mercado

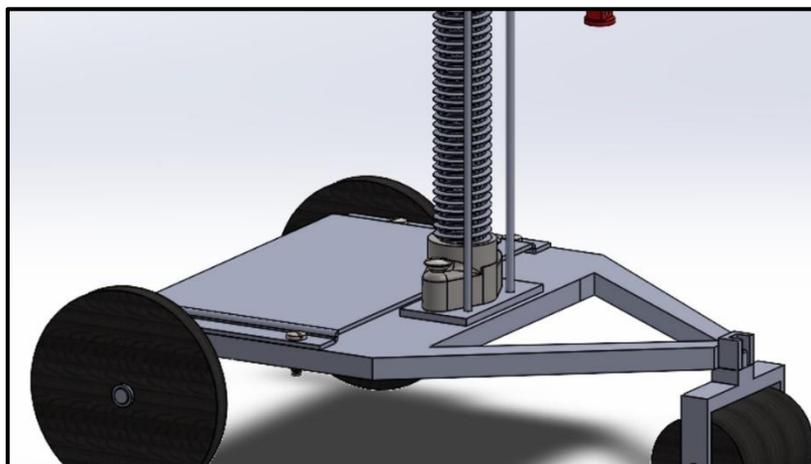
### **2.6.5. Selección del concepto de solución**

El diseño conceptual que se sugiere más viable en términos del cumplimiento de criterios establecidos previamente es el diseño conceptual 1, aunque su valoración no lo hace el más sofisticado, sin embargo requiere una plataforma básica con escasa necesidad de mantenimiento complejo y arquitectura morfológica y electrónica simple en formato modular que permite reparación o reemplazo de cada módulo por separado, esto es, el módulo de posicionamiento del móvil es independiente del módulo de sensores y así mismo independiente del módulo de posicionamiento de sensores.

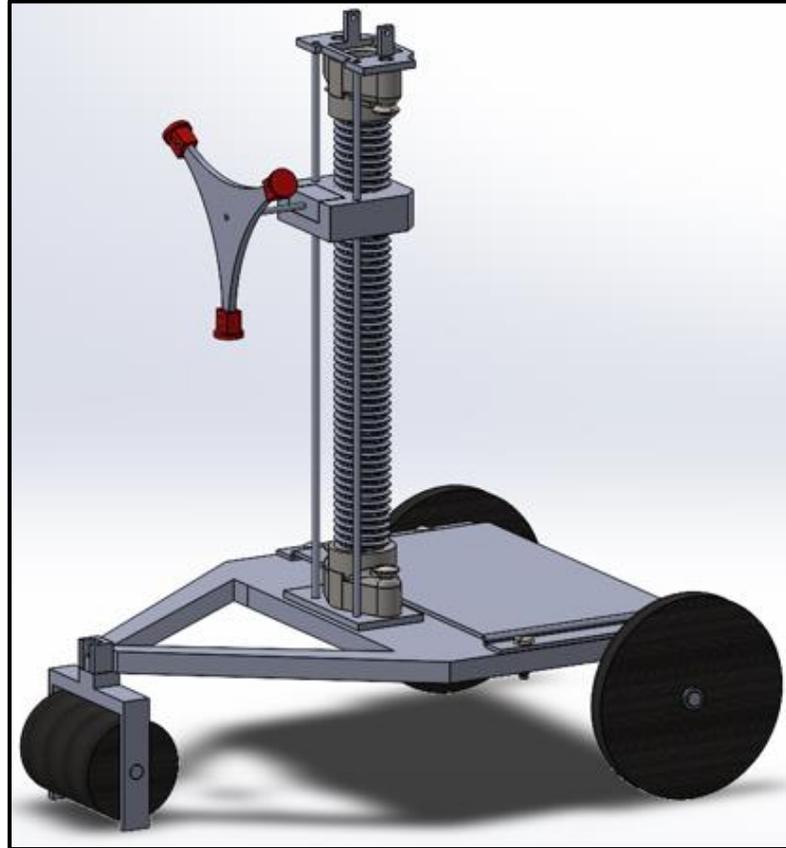
El diseño conceptual sugerido preliminar del prototipo se plantea en los siguientes bocetos, mostrados en las Figuras Figura 2.5, Figura 2.6 y Figura 2.7.



**Figura 2.5** Partes del diseño conceptual preliminar del prototipo, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 2.6** Base del prototipo, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 2.7** Diseño conceptual preliminar del prototipo, [Elaboración propia, 2021].

La Tabla 2.21 señala la relación de las etiquetas con cada componente del prototipo.

**Tabla 2.21** Componentes principales del prototipo, [Elaboración propia, 2021].

<b>Etiqueta</b>	<b>Componente</b>
1	Mecanismo de barrenado
2	Tarjeta de desarrollo
3	Batería de plomo (12V)
4	Motores CD
5	Motores a pasos
6	Sensor UV
7	Sensores IR y de temperatura
8	Sensor del suelo NPK

# CAPÍTULO 3

## Diseño del dominio específico

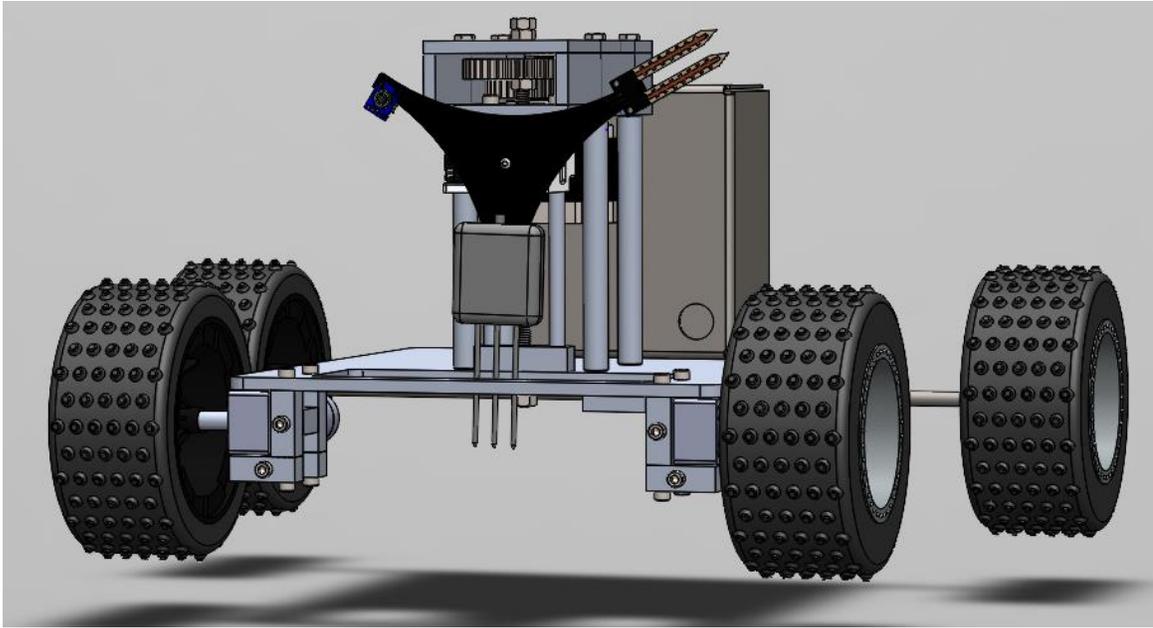
---

El presente capítulo se lleva a cabo el diseño detallado por las funciones generales del sistema mecatrónico, se dimensiona y parametriza los elementos que conforman el sistema, se detallan más los procesos incorporando adaptaciones al diseño útiles para solventar aspectos de estabilidad durante el desplazamiento del mismo, usando como base el diseño preliminar descrito previamente y se muestran algunos cálculos del sistema.

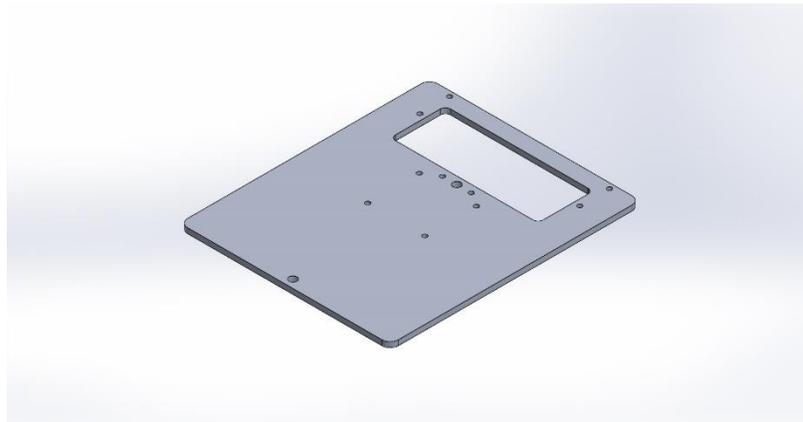
### 3.1. Diseño detallado por funciones generales

Las funciones abordadas son las 3, 4 y 6 (Descomposición de funciones). Este mecanismo debe ser capaz de desplazarse siguiendo una trayectoria previamente definida por el usuario a través del campo con obstáculos de altura media de 20cm y mover una carga no mayor a 2.5 kg al interior de una superficie de cultivo en planicie con extensión no mayor a 1 hectárea. El móvil debe tener autonomía energética y tener la capacidad de recolectar datos en diferentes puntos de la trayectoria definida. Debe tener un punto de arribo con tolerancia de hasta 5 metros respecto al punto de partida.

A continuación, se muestra una nueva versión con características mejoradas que reemplaza al diseño preliminar del prototipo del móvil diseñado para cumplir las expectativas planteadas junto con el análisis de esfuerzos en función de las cargas presentes en el mecanismo.



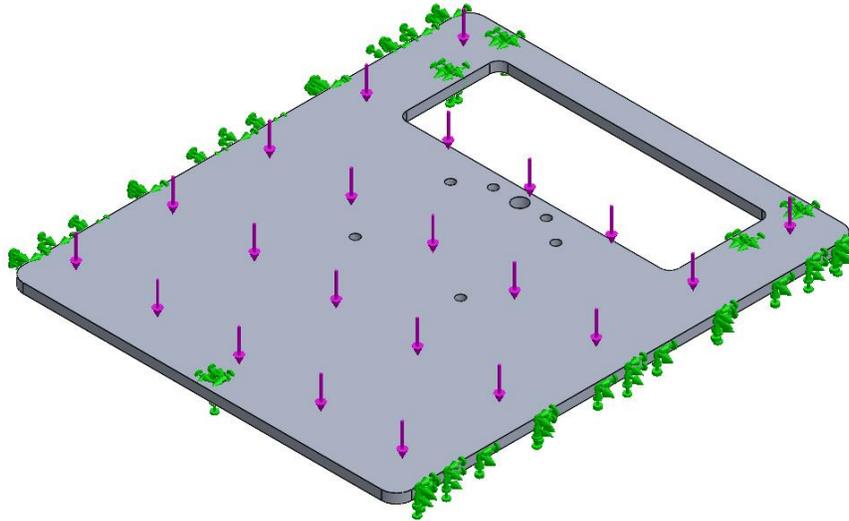
**Figura 3.1** Diseño del prototipo móvil, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 3.2** Base del prototipo, [Elaboración propia, 2021].

Al ser una placa con un espesor de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, es estimado que el análisis de esfuerzos arroje resultados insignificativos, sin embargo, nos permitirá saber un aproximado de carga que pueda soportar en caso de algún tipo de eventualidad en el campo. A continuación, se presenta una tabla (Tabla 3.1) con la información del modelo.

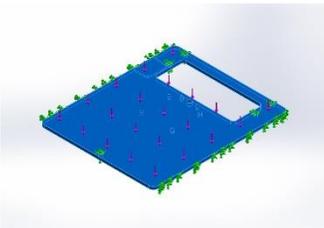
**Tabla 3.1** Información de modelo, [Elaboración propia, 2021].



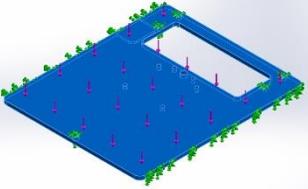
Nombre del modelo: **Placa Base**  
 Configuración actual: **Predeterminado**

**Sólidos**

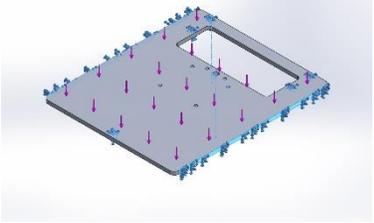
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<b>Redondeo1</b>	<b>Sólido</b>	Masa:1.11832 kg Volumen:0.000414193 m <sup>3</sup> Densidad:2,700 kg/m <sup>3</sup> Peso:10.9595 N	D:\Nayeli\Manufactura\Placa Base.SLDPRT <b>Nov 14 23:34:09 2021</b>



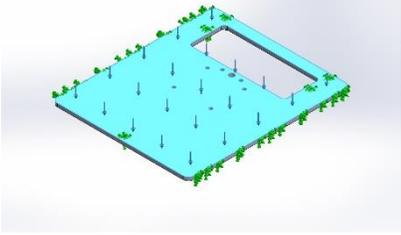
**Tabla 3.2** Propiedades de material, [Elaboración propia, 2021].

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>Aleación 6061</b>	<b>Sólido 1</b> <b>(Redondeo1)</b> <b>(Placa Base)</b>
	Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b>	
	Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b>	
	Límite elástico: <b>5.51485e+07 N/m<sup>2</sup></b>	
	Límite de tracción: <b>1.24084e+08 N/m<sup>2</sup></b>	

**Tabla 3.3** Cargas y sujeciones, [Elaboración propia, 2021].

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades: 7 cara(s)</b> <b>Tipo: Geometría fija</b>

**Tabla 3.4** Cargas y sujeciones, [Elaboración propia, 2021].

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
<b>Fuerza-1</b>		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Tipo: Aplicar fuerza normal</b> <b>Valor: 50 N</b>

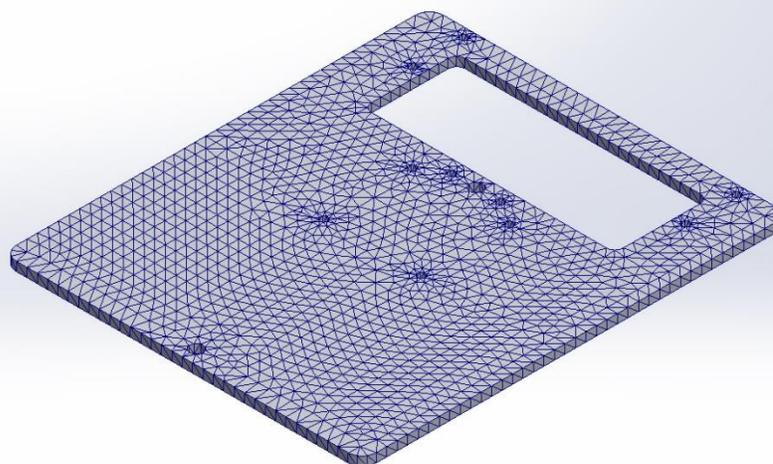
**Tabla 3.5** Información de malla, [Elaboración propia, 2021].

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elementos	7.57693 mm
Tolerancia	0.378847 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla 3.6** Información de malla- Detalles, [Elaboración propia, 2021].

Número total de nodos	19218
Número total de elementos	9789
Cociente máximo de aspecto	7.0043
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94.7
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh; mm; ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Placa Base  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida

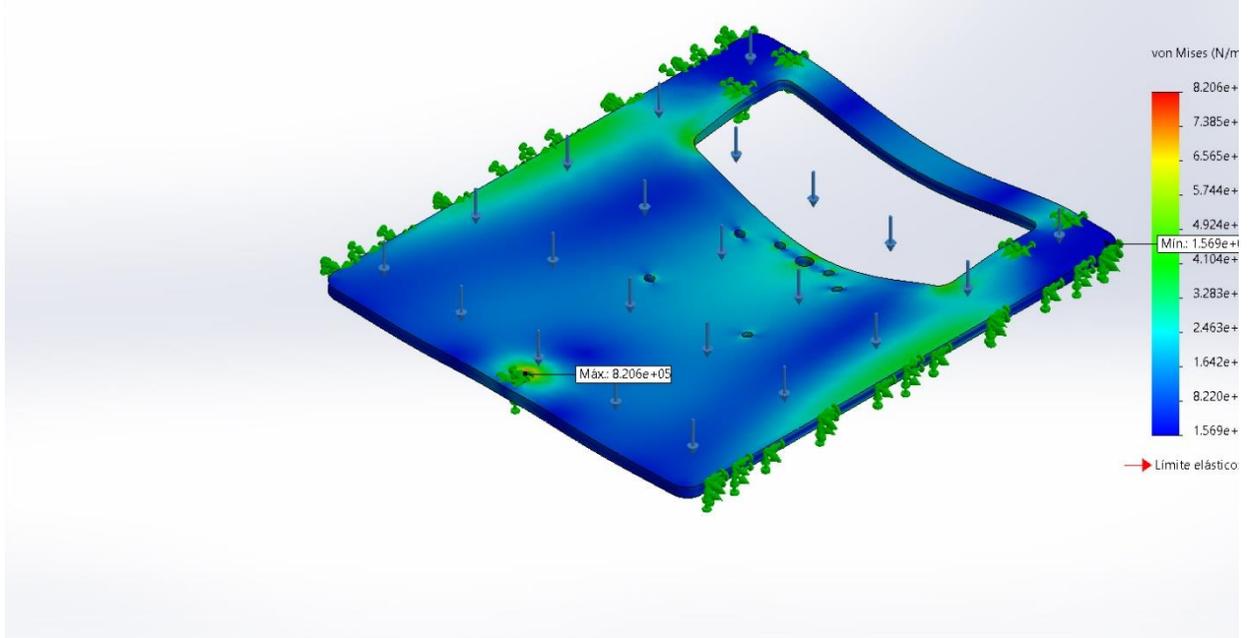


En la **Tabla 3.7** se muestra el análisis de esfuerzos, aplicando la tensión de von Mises arrojando resultados insignificativos, sin embargo, nos permite saber un aproximado de carga que pueda soportar en caso de algún tipo de eventualidad en el campo.

**Tabla 3.7** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Stress	VON: Tensión de von Mises	1.569e+02N/m <sup>2</sup> Nodo: 14940	8.206e+05N/m <sup>2</sup> Nodo: 19062

Nombre del modelo: Placa Base  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress  
 Escala de deformación: 6,098.38

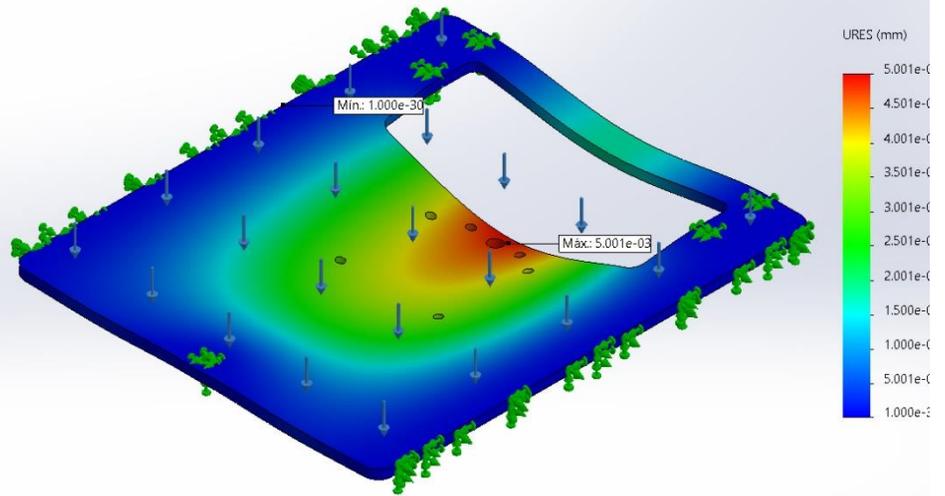


**Placa Base-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress**

**Tabla 3.8** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 15	5.001e-03mm Nodo: 17670

Nombre del modelo: Placa Base  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement  
 Escala de deformación: 6,098.38

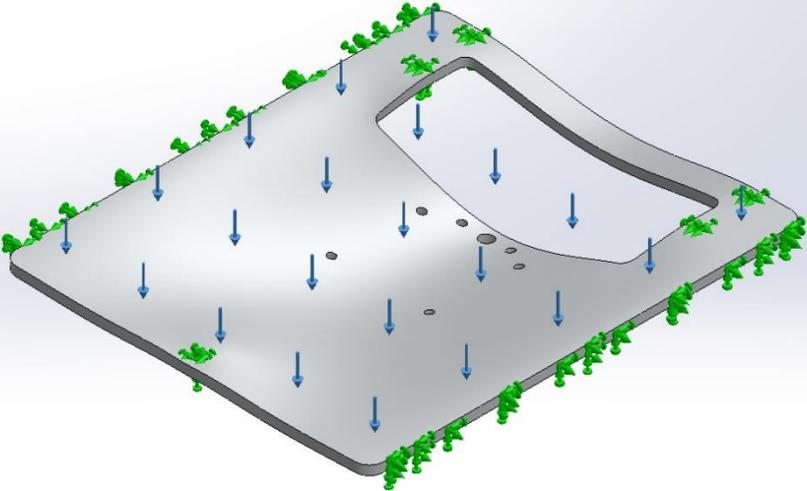


**Placa Base-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement**

**Tabla 3.9** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo
Deformation	Deformada

Nombre del modelo: Placa Base  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Deformada Deformation  
Escala de deformación: 6,098.38



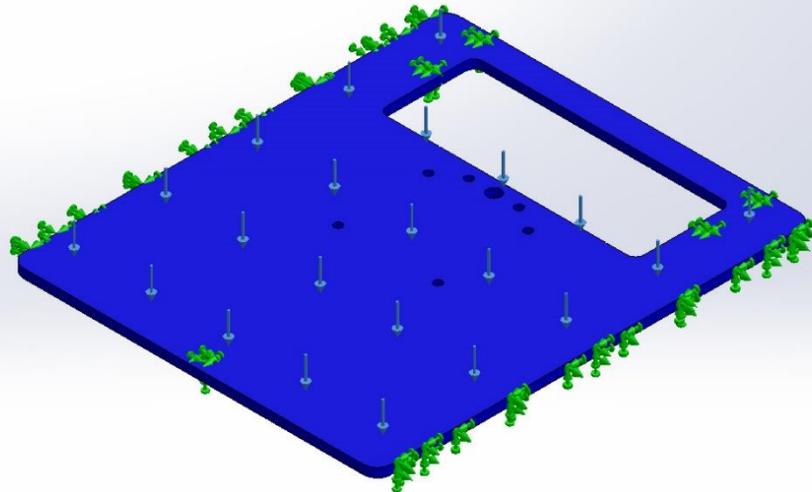
The image shows a 3D perspective view of a rectangular plate with a central rectangular cutout. The plate is rendered in a light gray color. Numerous blue arrows point downwards from the top surface of the plate, representing a uniformly distributed load. The plate is surrounded by a border of green trees. The central cutout is also surrounded by trees. The plate appears to be supported by a thick gray base. The overall scene is set against a light blue background.

**Placa Base-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation**

**Tabla 3.10** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	6.721e+01	3.514e+05
		Nodo: 19062	Nodo: 14940

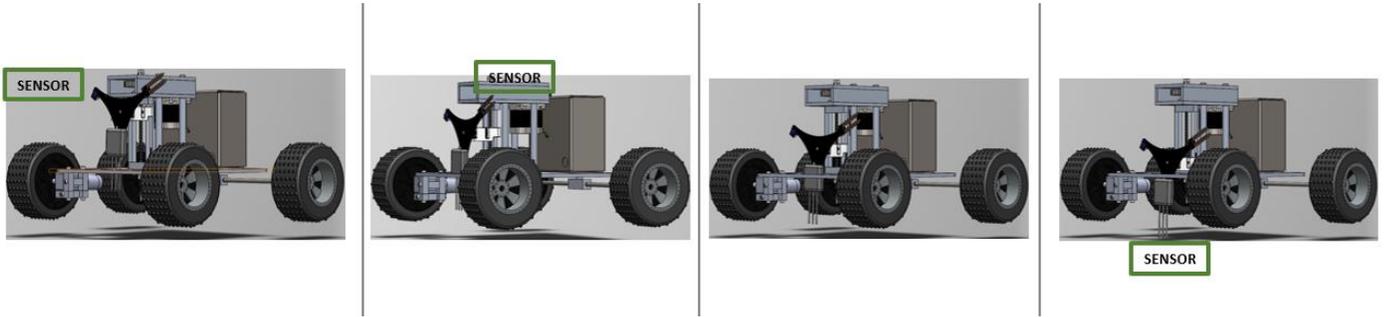
Nombre del modelo: Placa Base  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Rojo < FOS = 1 < Azul



**Placa Base-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety**

La placa base del carro otorgó un factor de seguridad muy alto (67.20), por lo que se puede asegurar la fiabilidad de la placa al cargar los componentes con firmeza sin que esta tenga algún tipo de daño a largo plazo.

En la Figura 3.3 se muestra una simulación del posicionamiento de los sensores y del barrenador, representados cada uno de color verde:



**Figura 3.3** Posicionamiento de sensores y barrenador, [Elaboración propia, 2021].

## 3.2. Estimación de requerimientos energéticos

### 3.2.1. Desplazamiento del móvil

Para el caso de otorgar desplazamiento al móvil, se asume que la energía para el rompimiento de inercia de reposo es la energía cinética  $K_{Móvil}$  requerida hasta alcanzar la velocidad de desplazamiento  $v_{móvil}$  que incluye la carga del elevador y posicionador de barreno y sensores más la plataforma electrónica, de actuadores y de soporte energético (batería), por otro lado se asume la necesidad de otorgar energía necesaria para salvar obstáculos que puede ser representado como energía potencial  $U_{CG}$  sobre el centro de gravedad CG del mecanismo móvil, más la energía promedio de arrastre sobre el suelo  $\varphi_{arrastre}$ , esta última cantidad se requiere ser determinada en campo experimentalmente y considerar el máximo efecto de arrastre para garantizar el cálculo apropiado de requerimiento energético, de esta forma se sigue que la potencia requerida es

$$P_{desplazamiento\ móvil} = \frac{K_{Móvil}}{t_{activación}} + \frac{U_{CG}}{t_{medio\ de\ elevación}} + \frac{\varphi_{arrastre}}{t_{desplazamiento\ neto}}$$

De esta manera:

$$P_{desplazamiento\ móvil} = \frac{\frac{1}{2}M_{movil}(v_{móvil})^2}{t_{activación}} + \frac{M_{movil}g\hat{H}_{obstáculo}}{t_{medio\ de\ elevación}} + \frac{C_{arrastre}v_{móvil}}{t_{desplazamiento\ neto}}$$

### 3.2.2. Módulo de posicionamiento de sensores y barreno

En este caso el consumo energético requerido para el sistema de posicionamiento de sensores requiere tener el torque necesario  $\tau_{m\acute{a}ximo}$  para el desplazamiento angular del volante posicionador, en este caso el torque máximo requerido será el que corresponde al generado por el centro de masa del barrenador (motor más broca) y así mismo de los componentes rotatorios participantes, a saber, la masa del sistema de barrenado  $m_{barreno}$  más la masa del conjunto de sensores  $m_{sensores}$  a una distancia media  $l$  desde el centro del volante posicionador hasta el centro de gravedad de los componentes, de esta manera la potencia requerida para este módulo es:

$$P_{modulo\ barreno\ y\ sensores} = \tau_{m\acute{a}ximo} \dot{\theta} = 6N \left[ m_{(barreno+broca+sensores)} g l \frac{2\pi \left(\frac{1}{3} rev\right)}{t_{cambio\ de\ posición}} \right]$$

Donde el término  $6N$  se ha agregado para estimar el consumo pico durante la rotación para posicionar barreno y sensores en cada registro de parámetros (ida y vuelta),  $N$  representa el número de muestras recolectadas. Para el cálculo anterior se ha supuesto la colocación de barreno y sensores en las posiciones de máximo torque con el fin de garantizar la operación del sistema sin limitaciones energéticas.

### 3.2.3. Mecanismo barrenador

En este caso se debe considerar el efecto de fricción en suelo  $\varphi_{fricción}$  sobre las paredes de la broca, este valor ha de determinarse experimentalmente, adicionalmente ha de considerarse el consumo energético durante el rompimiento de inercia estacionaria de la broca que puede ser despreciable pero que constituye un pico de consumo energético que de igual manera se repite  $N$  veces en función de la densidad de muestreo, de esta manera se sigue que:

$$P_{mecanismo\ barreno} = N\varphi_{fricción}$$

### 3.2.4. Mecanismo de elevador

Para este caso se considera el peso de la pieza que sujeta al volante posicionador de barreno y sensores y que se encarga de elevar y descender dicho sistema (sinfín vertical que posiciona al mecanismo de sensores y barreno). En este caso se desprecia la disipación de energía por fricción a lo largo de los canales de los filetes del sinfín debido a que se asume lubricación.

No obstante, se requiere consumo de energía  $U_{tornillo\ sinfin}$  en el rompimiento de inercia estacionaria para el tornillo, adicionalmente energía de desplazamiento  $U_{pieza\ elevador}$  y energía

para barrenado  $\varphi_{hacia\ suelo}$  (trabajo de barrenado hacia dentro del suelo). De esta forma se obtiene la siguiente expresión:

$$P_{elevator} = \frac{U_{tornillo\ sinfin} + U_{pieza\ elevator}}{t_{elevación}} + \frac{\varphi_{hacia\ suelo}}{t_{barrenado}}$$

$$P_{elevator} = \frac{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} m_{sin\ fin} R^2_{tornillo} \right) \left( 2\pi \frac{V_{elevator}}{h} \right)^2 + m_{pieza\ elevator} g S}{t_{elevación}} + \frac{\varphi_{hacia\ suelo}}{t_{barrenado}}$$

Donde  $h$  es el paso o distancia entre filetes del tornillo sinfín y  $S$  es la carrera del elevador desde el punto más bajo alcanzado por el barreno hasta la parte más alta donde rota el posicionador.

### 3.3. Sistema de posicionamiento del móvil en campo

A continuación, se desarrolla el algoritmo de avance y posicionamiento para la recolección de muestras correspondiente a las funciones generales 1, 2 y 5, en este caso se requiere un algoritmo para definir la trayectoria seguida por el móvil al interior de una superficie definida. Se requiere que el móvil realice  $N$  registros en un tiempo definido. Se realiza un registro de geo referencia en el punto de inicio seleccionado deliberadamente dentro de la zona de interés, se considera la utilidad de este prototipo en zonas planicies que acaban de ser cosechadas y limpiadas de tal manera que han sido liberadas de residuos o canales con tamaños mayores a 20cm. Lo anterior no es difícil de lograr pues es habitual en sembradíos. A continuación, se define un conjunto de vectores que quede al interior de la zona seleccionada como se aborda a continuación:



**Figura 3.4** Imagen simbólica de un sembradío típico.

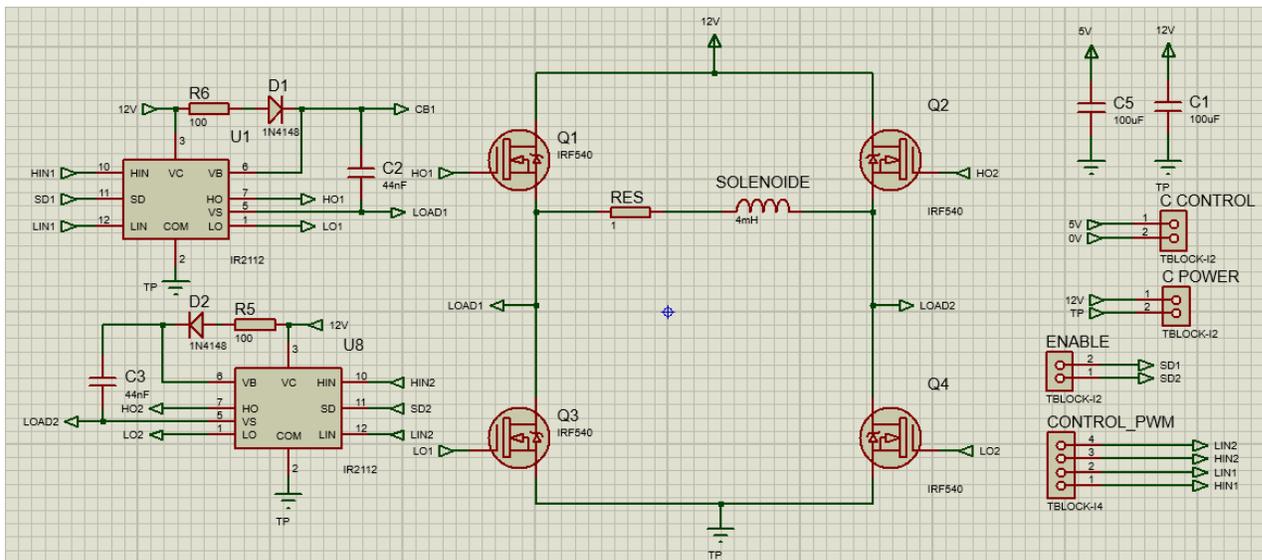
En seguida se selecciona un punto de inicio punto rojo y se obtiene la coordenada en formato de geo referencia para efectos de reporte técnico de la zona posteriormente se define un conjunto de

vectores que formen una “U” que retorne hacia el punto cercano al de partida (punto verde) de la siguiente forma. Este proceso puede observarse en la Figura 3.5.



**Figura 3.5** Representación en campo de la trayectoria de seguimiento vectorial del sistema móvil de recolección de muestras, [Elaboración propia, 2021].

Simulación del control de motores de módulo de barrenado y módulo de desplazamiento (Figura 3.6) que nos va a servir como base para el manejo de cada uno de los motores que se va a emplear para cada módulo mencionado anteriormente.



**Figura 3.6** Simulación de control de motores, [Elaboración propia, 2021].

### 3.4. Sistema de recolección de datos.

El sistema de recolección de datos se compone de tres sensores que trabajan uno por vez apoyados en un actuador de 1 GDL que los coloca en posición para sus respectivas mediciones.

A alto nivel, este sistema se compone de tres sensores conectados al Arduino para la adquisición y procesamiento de sus datos, y para mantener la misma referencia o tierra de la misma fuente de alimentación como se muestra en la Figura 3.7.

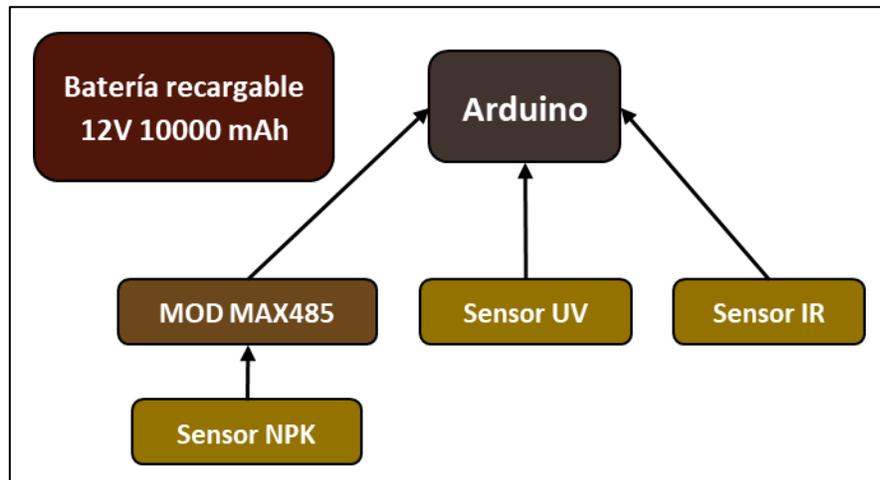


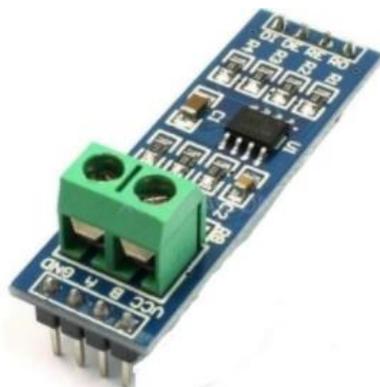
Figura 3.7 Diagrama de recolección de datos, [Elaboración propia, 2021].

#### 3.4.1. Sensor NPK

El primer sensor es de encargado de medir la concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, de ahí que se le denomina sensor NPK. Este sensor tiene una salida con comunicación serial RS485. Para acondicionar esta salida con la intención de conectarla al módulo UART del Arduino usando comunicación RS232 se selecciona el módulo MAX485, que funciona como una interfaz entre ambos protocolos.

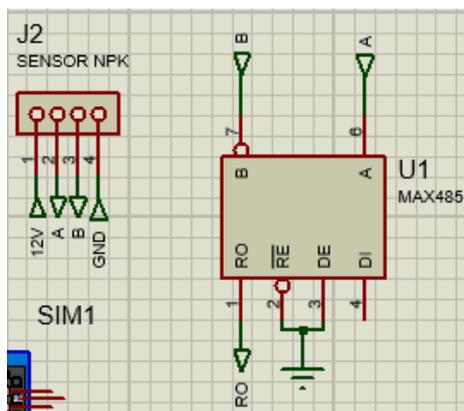


Figura 3.8 Sensor NPK.



**Figura 3.9** Módulo MAX485.

En este caso la interfaz sólo se utiliza para recibir información del sensor y enviarla hacia el Arduino. Dando por entendido que el puerto USB-B del Arduino está conectado a RX1 y TX1, se conecta la salida del módulo MAX485 al RX3. Dado que el rango de alimentación del sensor NPK es de 9-24 V se propone alimentarlo con 12V.



**Figura 3.10** Diagrama eléctrico de conexión del sensor NPK al módulo MAX485, [Elaboración propia, 2021].

### 3.4.2. Sensor UV

Este sensor, de matrícula ML811, tiene una salida analógica altamente sensible a la alimentación de 3.3V que requiere. Es por ello que, para mantener un control más estricto de la salida del sensor, se cierra el lazo de control conectando la alimentación de este sensor (proveniente del Arduino) a un pin analógico para verificar con mayor precisión el voltaje de alimentación y hacer los ajustes necesarios.

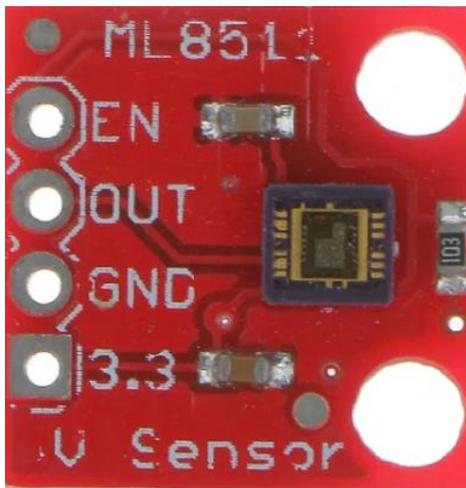


Figura 3.11 Sensor UV.

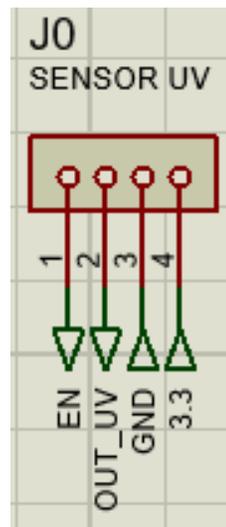


Figura 3.12 Diagrama eléctrico de conexión del sensor UV ML8511, [Elaboración propia, 2021].

### 3.4.3. Sensor IR y de temperatura.

Este sensor de matrícula MLX90614ESF-BAA, se alimenta con 3.3 V, y tiene una salida digital, que permite enviar los datos de sus mediciones por medio del protocolo I2C.

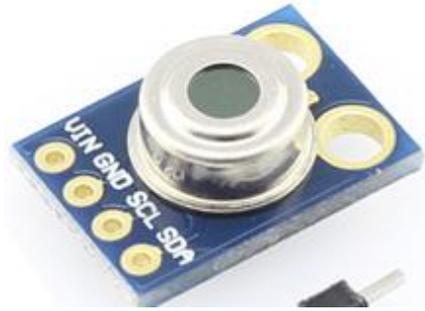


Figura 3.13 Sensor MLX90614ESF-BAA.

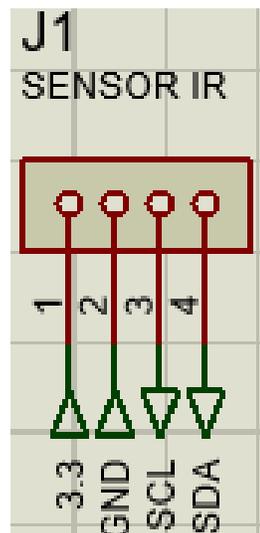


Figura 3.14 Diagrama eléctrico de conexión del sensor MLX90614ESF-BAA, [Elaboración propia, 2021].

### 3.5. Diagrama esquemático

Este diagrama esquemático presenta las conexiones requeridas tanto de alimentación como de comunicaciones. La alimentación se provee mediante una batería recargable de 12 V, mientras que las comunicaciones de los sensores son mediante el protocolo serial, y el sensor UV es leído directamente por el ADC del Arduino.

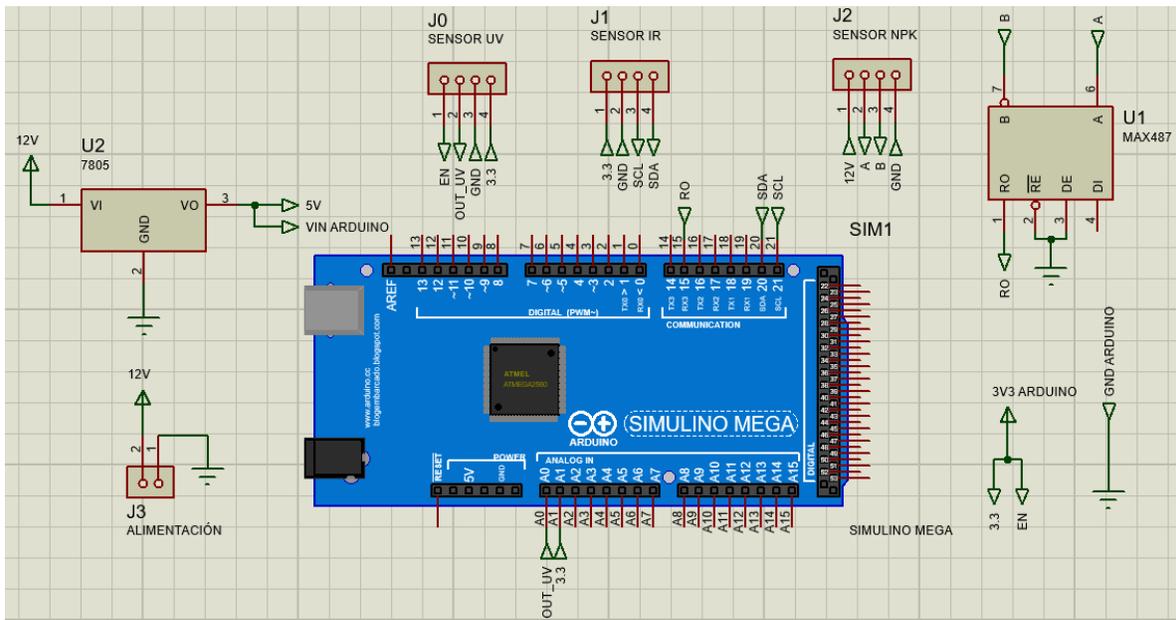


Figura 3.15 Diagrama esquemático del sistema de recolección de datos, [Elaboración propia, 2021].

# CAPÍTULO 4

## Integración del sistema

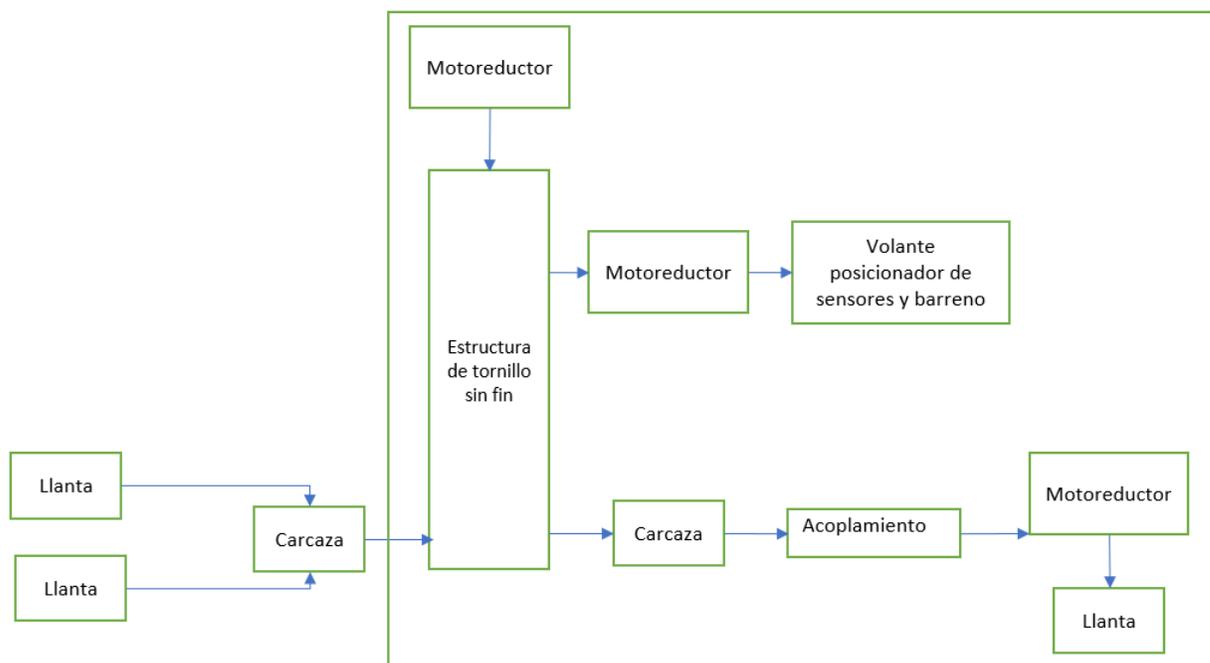
La integración de sistema trata de juntar cada uno de los módulos y sistemas propuestos en la arquitectura física para la generación del sistema mecatrónico, en el cual todos los componentes trabajan en sinergia para que el equipo pueda caracterizar automáticamente las muestras espumas húmedas por medio de visión artificial.

### 4.1. Integración de M1 y M2

Se refiere a la parte del Módulo estructural (M1) y el Módulo del desplazamiento de componentes (M2), esto es, cada uno de los componentes de los ejes de movimiento con el módulo estructural.

### 4.2. Integración M1-M2-M3

Estos módulos ya se encuentran integrados en el prototipo móvil donde ya se analizó el soporte y funcionamiento de los ejes de movimiento por lo que no hay ninguna modificación en la estructura.



**Figura 4.1** Diagrama a bloques de conexiones para integración de M1-M2-M3, [Elaboración propia, 2021].

### 4.3. Integración M5 con M2-M3-M4

El módulo M5 es el encargado de la energía eléctrica para enviarla a los demás módulos que en este caso son M2 desplazamiento de componentes, M3 Medición de parámetros y M4 procesamiento de información, en los que M2 y M3 ya tienen una integración previa.

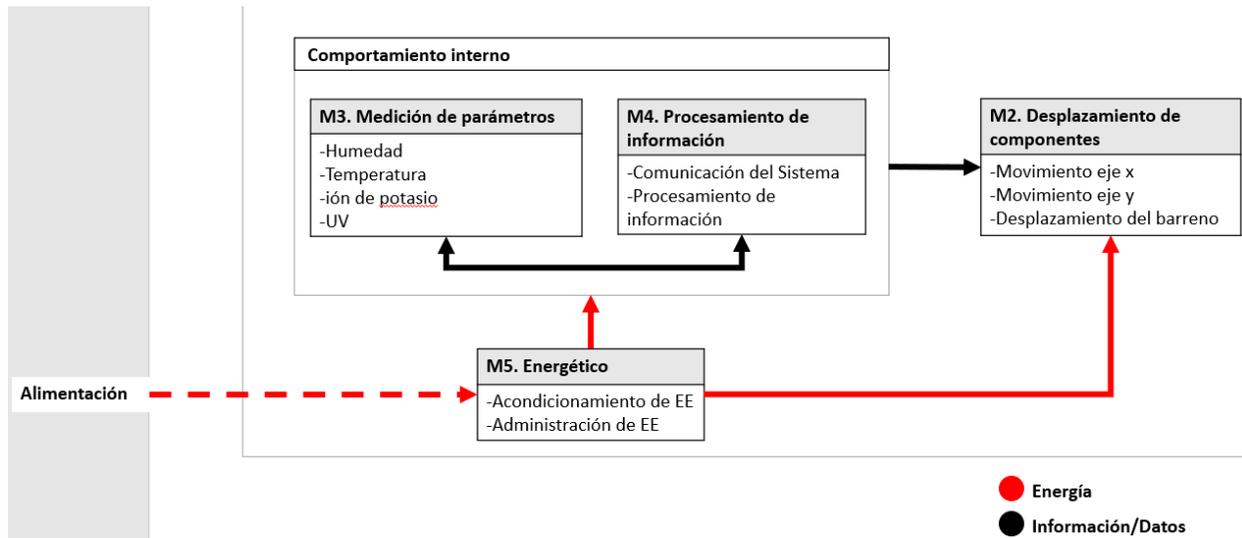


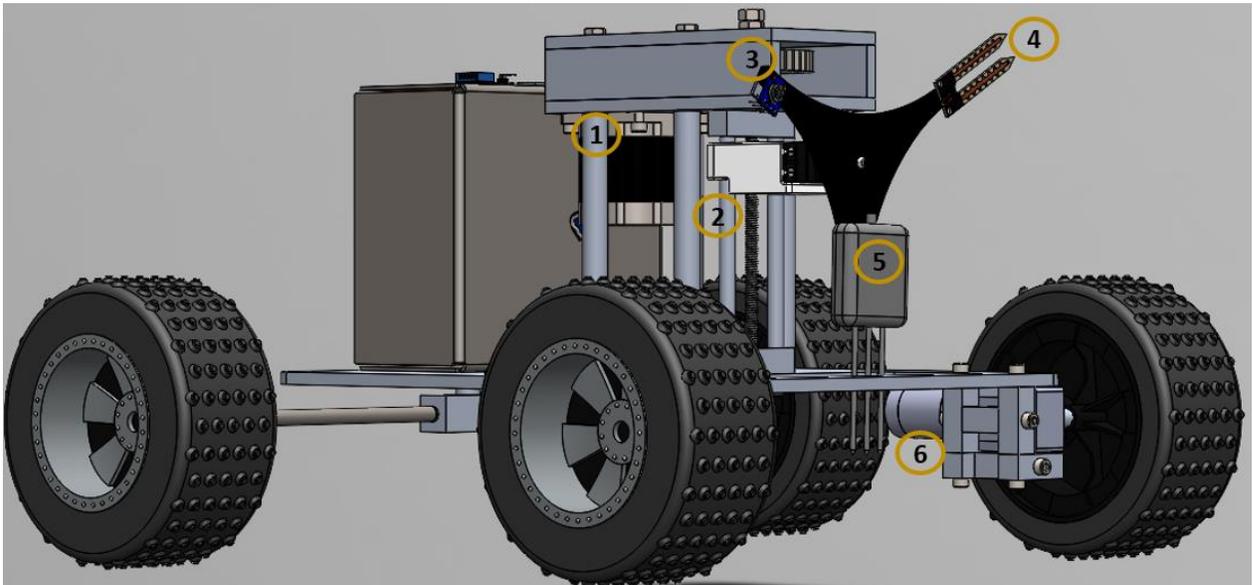
Figura 4.2 Diagrama a bloques de conexiones para integración de M4 con M2-M3 y M5, [Elaboración propia, 2021].

### 4.4. Integración M1-M2-M3-M4-M5 con M6

La integración de estos módulos conforma el sistema mecatrónico final como se muestra en la Figura 4.3, el cual está formado por el mecanismo del sistema móvil, la torre del elevador, el volante posicionador de sensores y barreno y el actuador para el barrenamiento, el gabinete para la colocación del sistema electrónico y de la fuente de energía, así como accesorios.

El algoritmo general de la figura representa las diferentes etapas del funcionamiento del prototipo. Los primeros pasos consisten en la interacción con el usuario, es decir, el ingreso de la rutina.

Posteriormente, inicia el proceso autónomo del mecanismo para realizar la recolección de muestras. Este es controlado por las señales generadas por el control electrónico de actuadores gestionado por las tarjetas de desarrollo propuestas (o Arduino). Las mediciones a través de sensores son almacenadas en una memoria USB y recuperadas al final de la recolección del prototipo.



**Figura 4.3** Sistema mecatrónico final, [Elaboración propia, 2021].

En la Tabla 4.1 se realiza una descripción breve de los sistemas.

**Tabla 4.1** Descripción de los sistemas.

<b>Etiqueta</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	En el punto uno tenemos trabajando un motor a pasos que lleva el funcionamiento principal donde se desplaza el sin fin hacía arriba y abajo.
<b>2</b>	En el punto 2 se tiene un servomotor el cual está encargado del posicionamiento de cada sensor.
<b>3, 4 y 5</b>	En la posición 3, 4 y 5 cada punta corresponde a los sensores.
<b>6</b>	En el número 6 se tiene un motorreductor gusano tanto de lado izquierdo como derecho, que son los encargados de la trayectoria de todo el prototipo.

# CAPÍTULO 5

## Implementación del sistema

---

A continuación, se muestra la implementación del sistema mecatrónico con cambios en el diseño para su correcto funcionamiento.

### 5.1. Implementación módulos de desplazamiento y estructural M1 y M2

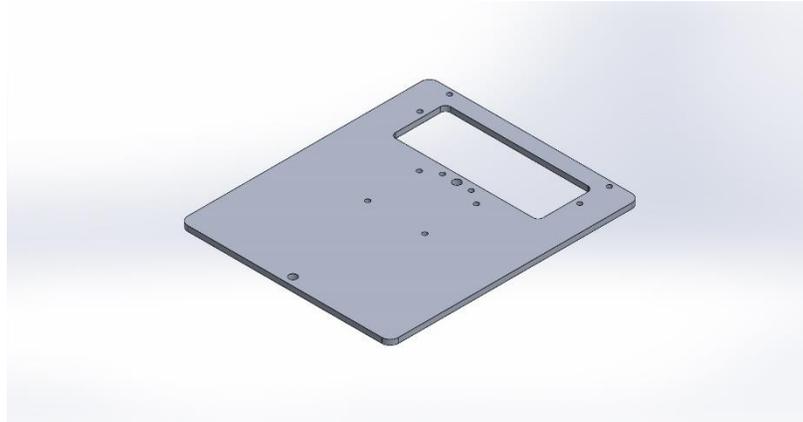
El módulo M1 abarca toda la parte estructural que es donde se encuentran todos nuestros componentes para el muestreo, procesamiento de los datos y nuestro sistema energético, es toda nuestra estructura como bien se menciona, la cual se encargará de transportar todos estos elementos. En el caso de M2 es el módulo encargado de desplazar al robot móvil sobre los suelos de cultivo siguiendo una trayectoria vectorial definida por el usuario.

#### 5.1.1. Verificación módulos de movimiento (M1-M2-M3)

Para cada uno de los siguientes módulos de desplazamiento se verificó el funcionamiento del mecanismo ya implementado y se describen a continuación las modificaciones realizadas.

##### 5.1.1.1. Verificación del módulo M1

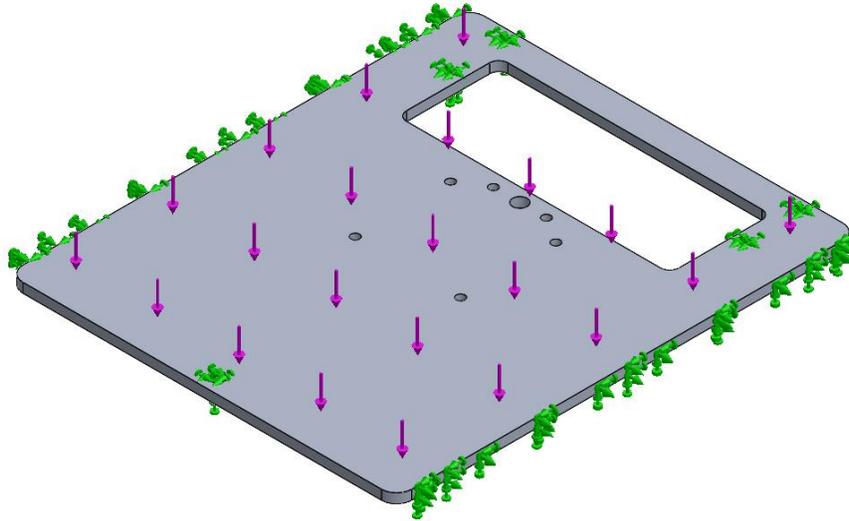
Para el módulo M1 estructural, se realizó modificación de la base del prototipo (Figura 5.1) ya que encontramos mayor equilibrio y estabilidad con este nuevo diseño también se facilitó el maquinado y el costo fue más accesible por estos motivos decidí cambiar el diseño, para ello se realizó un análisis de esfuerzos a la nueva placa base del carro para determinar la fiabilidad de ésta al ser sometida a la carga que representan los componentes que integran al conjunto, al ser una carga mínima (aproximadamente 2Kg) se decidió realizar el análisis a 50N (5.09Kg).



**Figura 5.1** Base del prototipo, [Elaboración propia, 2021].

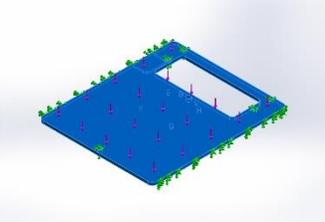
Al ser una placa con un espesor de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, es estimado que el análisis de esfuerzos arroje resultados insignificativos, sin embargo, nos permitirá saber un aproximado de carga que pueda soportar en caso de algún tipo de eventualidad en el campo. A continuación, se presenta una tabla (Tabla 5.1) con la información del modelo.

**Tabla 5.1** Información de modelo, [Elaboración propia, 2021].

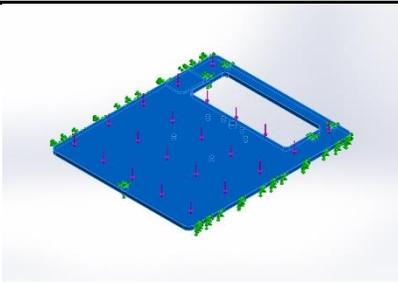


Nombre del modelo: **Placa Base**  
 Configuración actual: **Predeterminado**

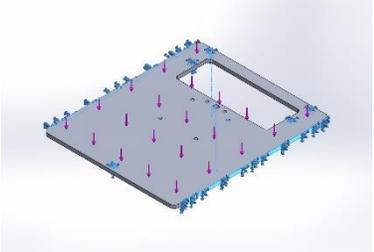
**Sólidos**

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p><b>Redondeo1</b></p> 	<p><b>Sólido</b></p>	<p>Masa:1.11832 kg                      Volumen:0.000414193 m<sup>3</sup>                      Densidad:2,700 kg/m<sup>3</sup>                      Peso:10.9595 N</p>	<p>D:\Nayeli\Manufactura\Placa Base.SLDPRT                      Nov 14 23:34:09 2021</p>

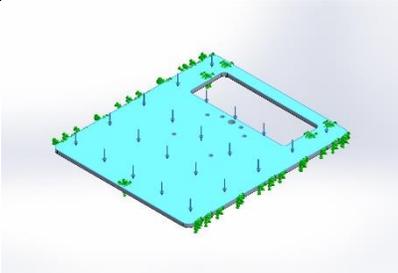
**Tabla 5.2** Propiedades de material, [Elaboración propia, 2021].

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>Aleación 6061</b>	<b>Sólido 1</b> <b>(Redondeo1)</b> <b>(Placa Base)</b>
	Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b>	
	Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b>	
	Límite elástico: <b>5.51485e+07 N/m<sup>2</sup></b>	
	Límite de tracción: <b>1.24084e+08 N/m<sup>2</sup></b>	

**Tabla 5.3** Cargas y sujeciones, [Elaboración propia, 2021].

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades: 7 cara(s)</b> <b>Tipo: Geometría fija</b>

**Tabla 5.4** Cargas y sujeciones, [Elaboración propia, 2021].

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
<b>Fuerza-1</b>		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Tipo: Aplicar fuerza normal</b> <b>Valor: 50 N</b>

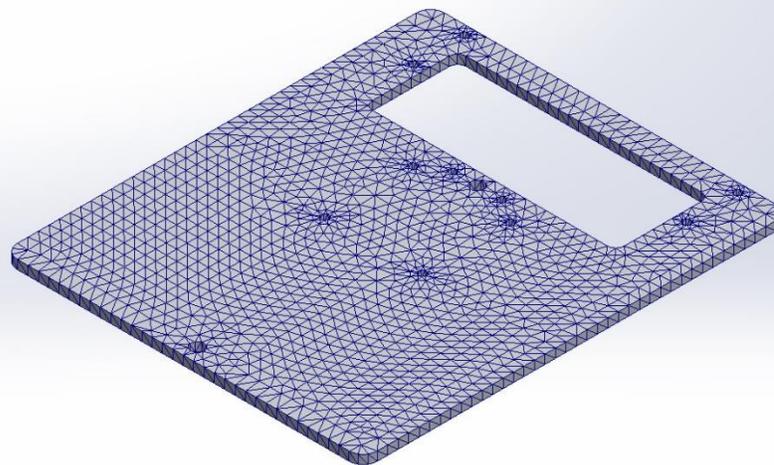
**Tabla 5.5** Información de malla, [Elaboración propia, 2021].

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elementos	7.57693 mm
Tolerancia	0.378847 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla 5.6** Información de malla- Detalles, [Elaboración propia, 2021].

Número total de nodos	19218
Número total de elementos	9789
Cociente máximo de aspecto	7.0043
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94.7
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh; mm; ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	

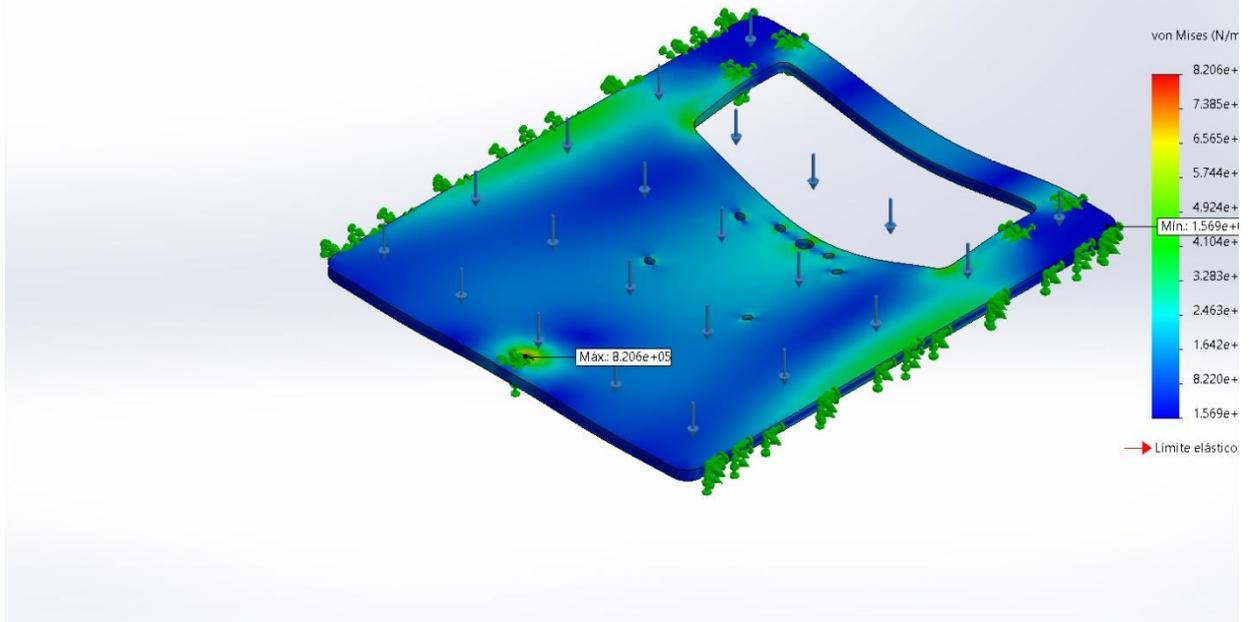
Nombre del modelo: Placa Base  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida



**Tabla 5.7** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Stress	VON: Tensión de von Mises	1.569e+02N/m <sup>2</sup> Nodo: 14940	8.206e+05N/m <sup>2</sup> Nodo: 19062

Nombre del modelo: Placa Base  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress  
 Escala de deformación: 6,098.38

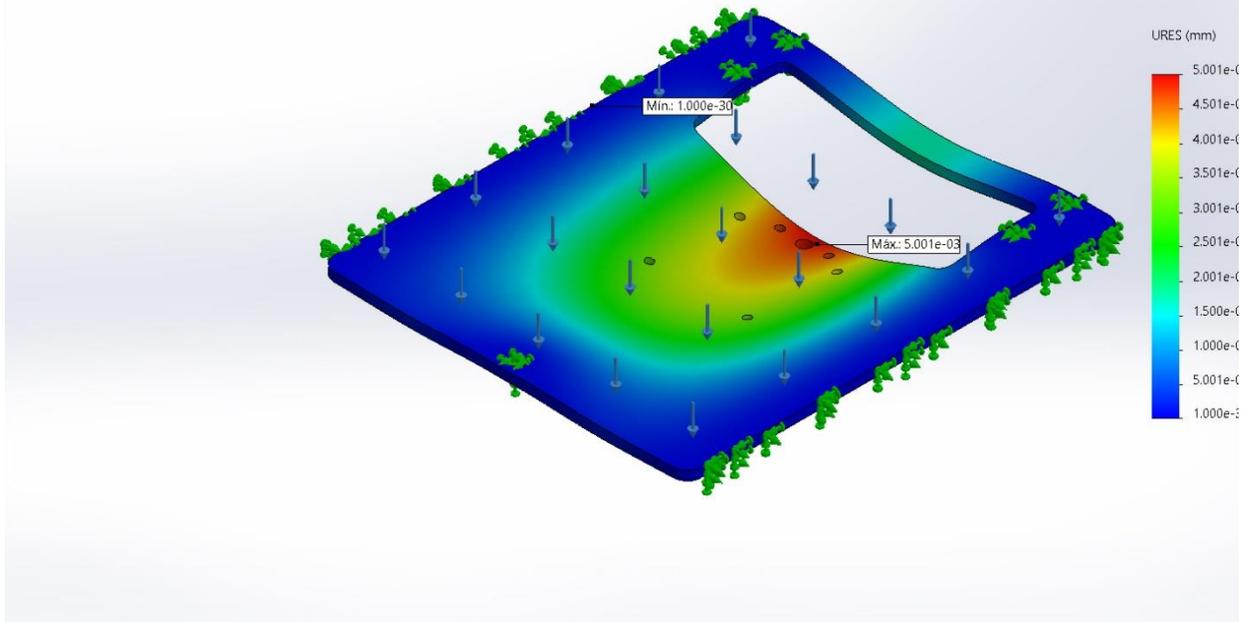


**Placa Base-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress**

**Tabla 5.8** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 15	5.001e-03mm Nodo: 17670

Nombre del modelo: Placa Base  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement  
 Escala de deformación: 6,098.38

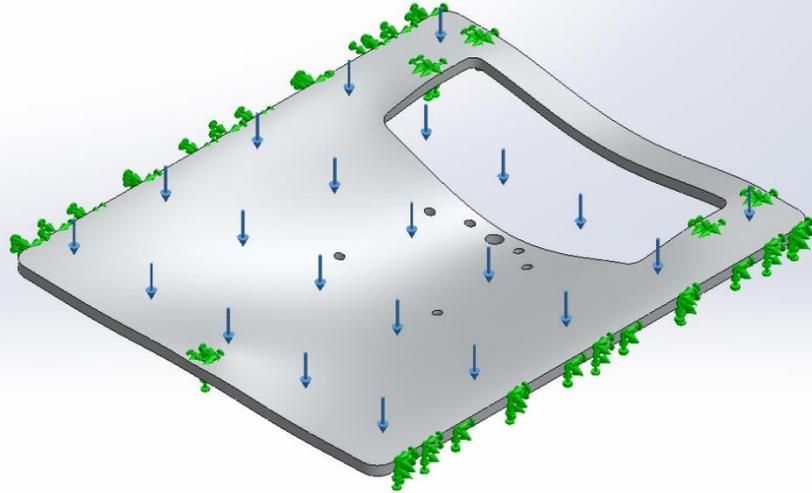


**Placa Base-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement**

**Tabla 5.9** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo
Deformation	Deformada

Nombre del modelo: Placa Base  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Deformada Deformation  
Escala de deformación: 6,098.38

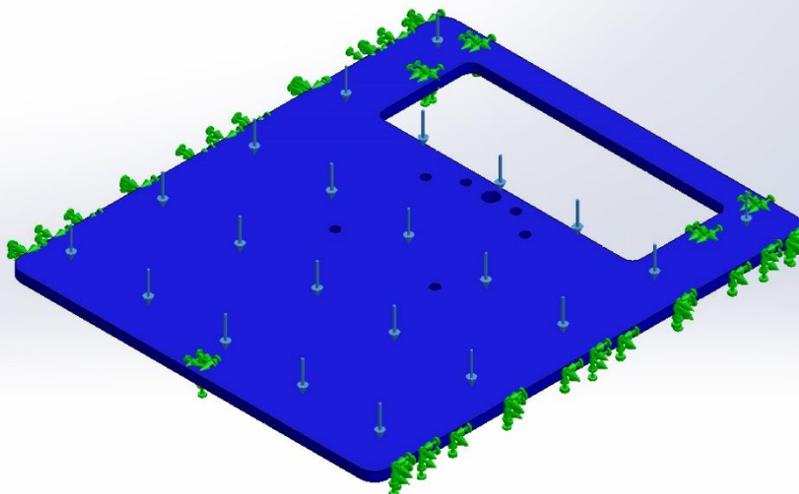


**Placa Base-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation**

**Tabla 5.10** Resultados del estudio, [Elaboración propia, 2021].

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	6.721e+01	3.514e+05
		Nodo: 19062	Nodo: 14940

Nombre del modelo: Placa Base  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety  
 Criterio: Tensiones von Mises máx.  
 Rojo < FOS = 1 < Azul



**Placa Base-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety**

La placa base del carro otorgó un factor de seguridad muy alto (67.20), por lo que se puede asegurar la fiabilidad de la placa al cargar los componentes con firmeza sin que esta tenga algún tipo de daño a largo plazo.

### 5.1.1.2. Verificación del módulo de desplazamiento de componentes M2

El prototipo fue maquinado en su mayoría y algunas de las piezas fueron diseñadas para impresión en 3D ya que no había piezas comerciales para las adaptaciones de las mismas, en el caso del “elevador de sensores” se utilizó una varilla sin fin comercial pero para adaptar el “porta sensores” se diseñó en 3D la pieza para que embonaran sin ningún problema, la pieza fue diseñada con las dimensiones y espesor adecuadas para soportar el servomotor que nos permite el giro exacto de los sensores para cada toma de muestra requerida, en el caso del desplazamiento de los componentes (sensores) en el eje x, no hubo mayor problema con el motor a pasos que se usó para esta parte, quedó bien posicionado con su caja de engranes sin provocar algún conflicto con el “elevador”, el cambio que hubo justo en esta parte del “elevador de sensores” es el sistema de barrenado, no hubo tal sistema ya que dos de los sensores que sí entran en la tierra están en las condiciones adecuadas

para penetrar la misma, sin el requerimiento de dicho sistema que serviría para introducir los sensores.

En el caso del desplazamiento del prototipo para la trayectoria en el eje “x” y “y” respectivamente fue más trabajo ya que las llantas se patinaban un poco por el suelo donde se puso a prueba, sin embargo, se logró seguir la trayectoria dada por el usuario.

### 5.1.1.3. Verificación del módulo de medición de parámetros M3

Como se mencionó anteriormente las piezas diseñadas en 3D fueron para adaptar y fijar de manera adecuada parte de nuestro mecanismo, en este caso el “elevador y porta sensores”, que es nuestro sistema de movimiento principal para la toma de muestras con cada sensor requerido.

En el “porta sensores” se colocaron 4 sensores en cada punta, específicamente el NPK (para el ion de potasio), el sensor de humedad de tierra y en una misma punta el sensor UV y el sensor IR de temperatura, considerando éstos últimos no sensan dentro de la tierra, su toma de muestra es superficial. Así mismo los otros dos sensores UV y el sensor de humedad respectivamente, se adecuaron en la parte trasera donde va la circuitería ya que también son tomas superficiales sin necesidad de ingresar a la tierra.

En el caso de los sensores para las mediciones cada uno fue calibrado correctamente, tomando los datos apropiados de cada parámetro, teniendo la comunicación entre Arduino y raspberry para enviar los datos a la memoria y así sean guardados sin problema para su posterior interpretación en la interfaz adecuada.

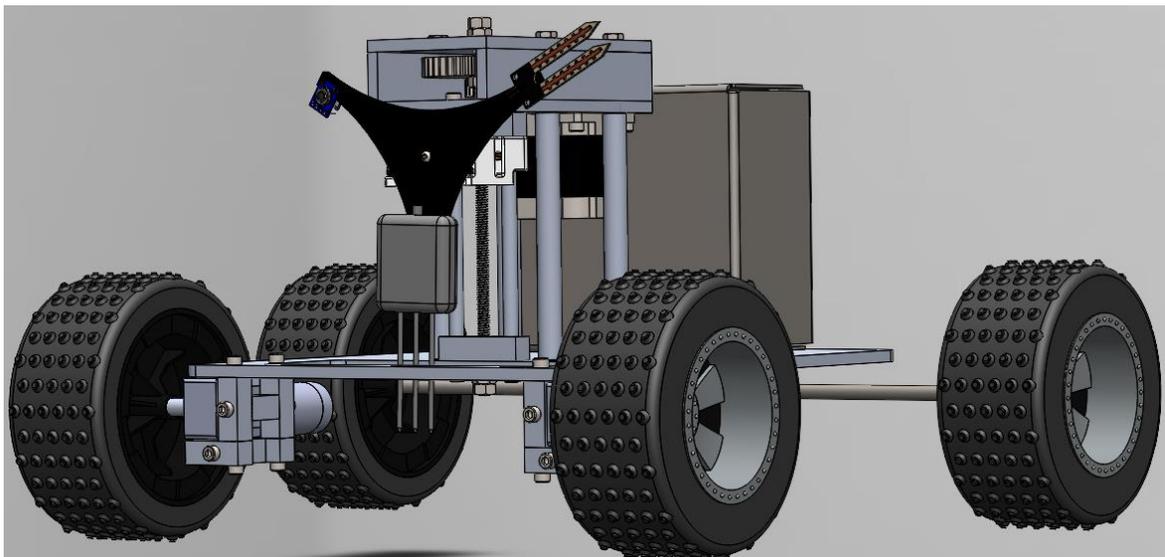


Figura 5.2 Prototipo final, [Elaboración propia, 2021].

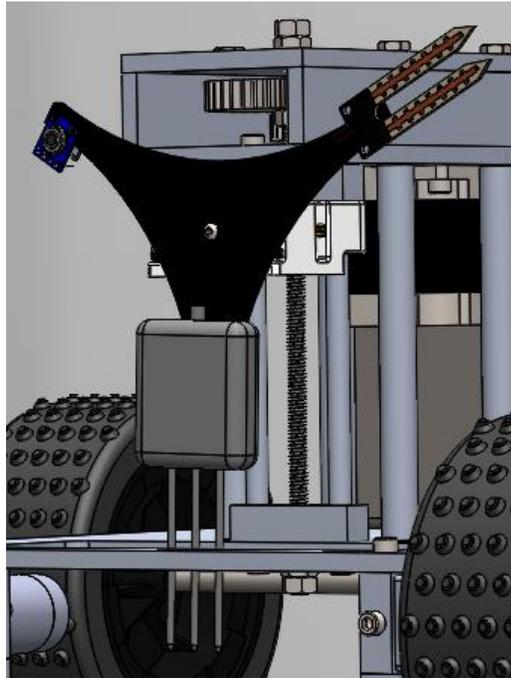
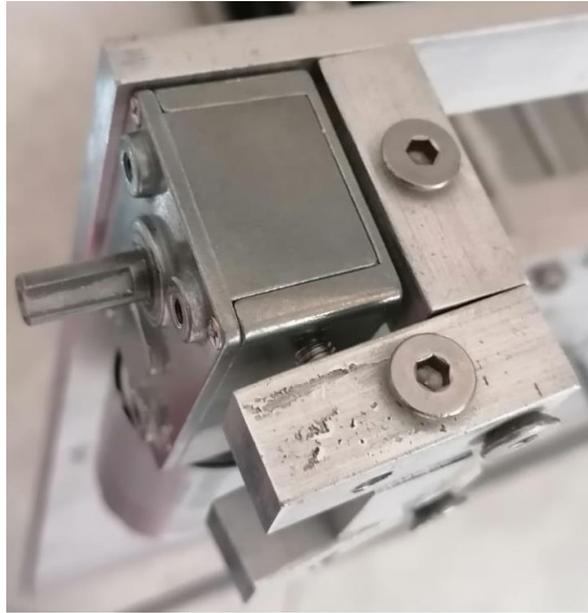


Figura 5.3 Porta sensores, [Elaboración propia, 2021].

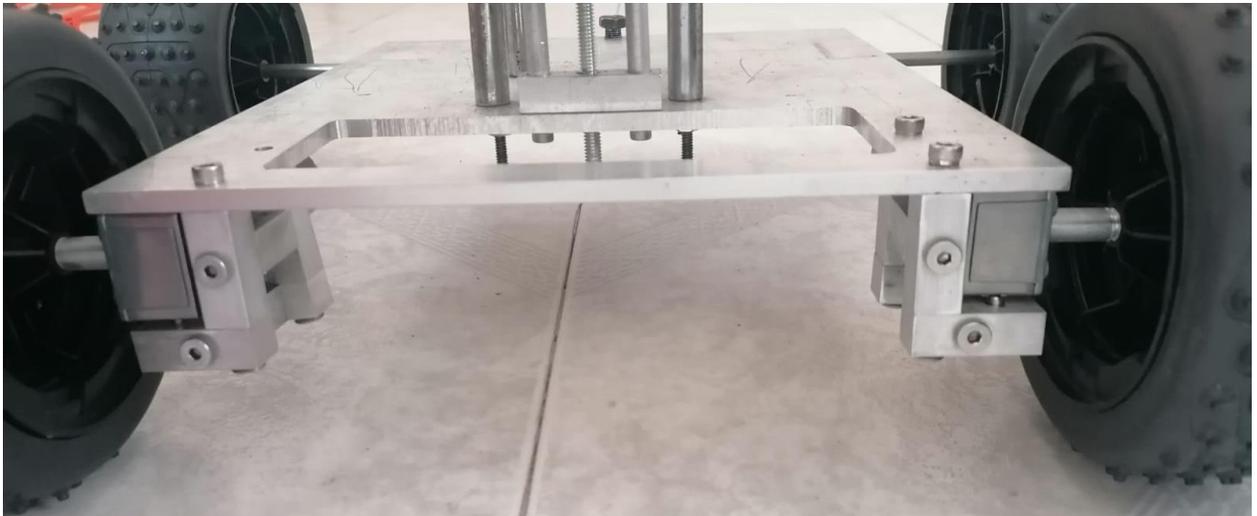
### 5.1.2. Colocación de motores

Se fabricaron y diseñaron las piezas para la colocación adecuada para cada uno de los 4 motores a usar en el prototipo, en el caso de los motores para la trayectoria se tomó en cuenta las dimensiones para ajustarlos con una pieza a la base y quedarán debidamente acoplados con las llantas.

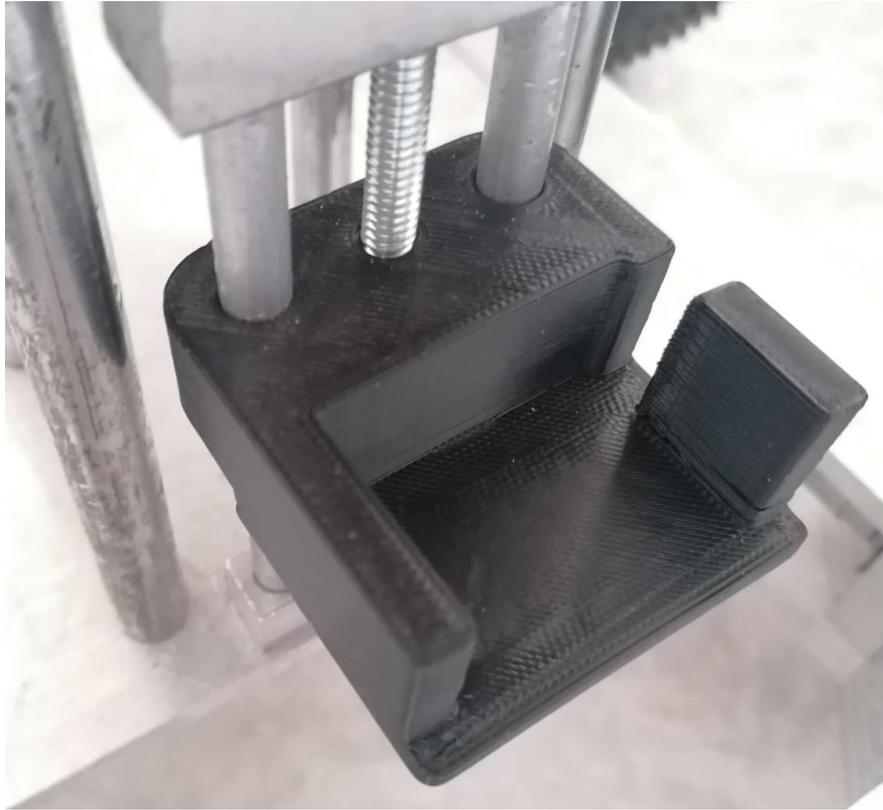
El motor del elevador que se desplaza en el eje “z” también fue atornillado a la caja de engranes para su correcto funcionamiento. Y por último el motor del porta sensores, el cual se le diseñó una pieza en 3D para adaptarlo al tornillo sin fin y fijar el porta sensores.



**Figura 5.4** Pieza para fijar motores a la base del prototipo, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 5.5** Montaje de los motores a la base del prototipo, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 5.6** Pieza diseñada en 3D para el servomotor en el eje “z”, [Elaboración propia, 2021].

## **5.2. Implementación de M4 Procesamiento de información**

El módulo M4 se encarga de generar la comunicación con el sistema y una vez generada procesa la información para ser guardada en la memoria de la tarjeta raspberry, una vez almacenada se trasladaron los datos de la memoria a la computadora para ingresarlos a la interfaz y tener una visualización gráfica de los mismos para que puedan ser interpretados por un experto.

### **5.2.1. Verificación del módulo de procesamiento de información M4**

Se estableció la conexión en serie del Arduino a la tarjeta raspberry, para tener una comunicación serial y trasladar los datos de los sensores a la memoria de la raspberry, una vez que se guardaron en la memoria se descargaron a la computadora y trasladaron a la interfaz para su visualización gráfica.

A screenshot of a serial terminal window titled 'COM3'. The window contains a list of 15 lines of sensor data. Each line follows the format: 'output: [value]ML8511 output: [value] / ML8511 voltage: [value] / UV Intensity (mW/cm^2): [value]'. The values for output, voltage, and UV Intensity vary across the lines. At the bottom of the window, there are control options: 'Autoscroll' (checked), 'Mostrar marca temporal' (unchecked), 'Nueva línea' (dropdown), '9600 baudio' (dropdown), and 'Limpiar salida' (button).

```
output: 100ML8511 output: 0 / ML8511 voltage: 0.00 / UV Intensity (mW/cm^2): 8.20
output: 99ML8511 output: 0 / ML8511 voltage: 0.00 / UV Intensity (mW/cm^2): 8.20
output: 98ML8511 output: 20 / ML8511 voltage: 0.67 / UV Intensity (mW/cm^2): 2.62
output: 100ML8511 output: 0 / ML8511 voltage: 0.00 / UV Intensity (mW/cm^2): 8.20
output: 100ML8511 output: 0 / ML8511 voltage: 0.00 / UV Intensity (mW/cm^2): 8.20
output: 119ML8511 output: 57 / ML8511 voltage: 1.58 / UV Intensity (mW/cm^2): 4.90
output: 128ML8511 output: 58 / ML8511 voltage: 1.50 / UV Intensity (mW/cm^2): 4.19
output: 74ML8511 output: 39 / ML8511 voltage: 1.74 / UV Intensity (mW/cm^2): 6.21
output: 120ML8511 output: 37 / ML8511 voltage: 1.02 / UV Intensity (mW/cm^2): 0.23
output: 78ML8511 output: 40 / ML8511 voltage: 1.69 / UV Intensity (mW/cm^2): 5.82
output: 89ML8511 output: 0 / ML8511 voltage: 0.00 / UV Intensity (mW/cm^2): 8.20
output: 93ML8511 output: 0 / ML8511 voltage: 0.00 / UV Intensity (mW/cm^2): 8.20
output: 65ML8511 output: 0 / ML8511 voltage: 0.00 / UV Intensity (mW/cm^2): 8.20
```

Figura 5.7 Prueba del sensor UV GYML8511, [Elaboración propia, 2021].

A screenshot of a serial terminal window titled 'COM3'. The window displays six lines of temperature data. Each line shows 'Temp. ambiente => [value]°C' and 'Temp. objeto => [value]°C'. The ambient temperature values are 23.85, 23.87, and 23.79, while the object temperature values are 21.71, 21.71, and 21.63. The bottom control bar shows 'Autoscroll' (checked), 'Mostrar marca temporal' (unchecked), 'Sin ajuste de línea' (dropdown), '9600 baudio' (dropdown), and 'Limpiar salida' (button).

```
Temp. ambiente => 23.85°C
Temp. objeto => 21.71°C
Temp. ambiente => 23.87°C
Temp. objeto => 21.71°C
Temp. ambiente => 23.79°C
Temp. objeto => 21.63°C
```

Figura 5.8 Prueba del sensor de IF MLX90614ESF-BAA, [Elaboración propia, 2021].

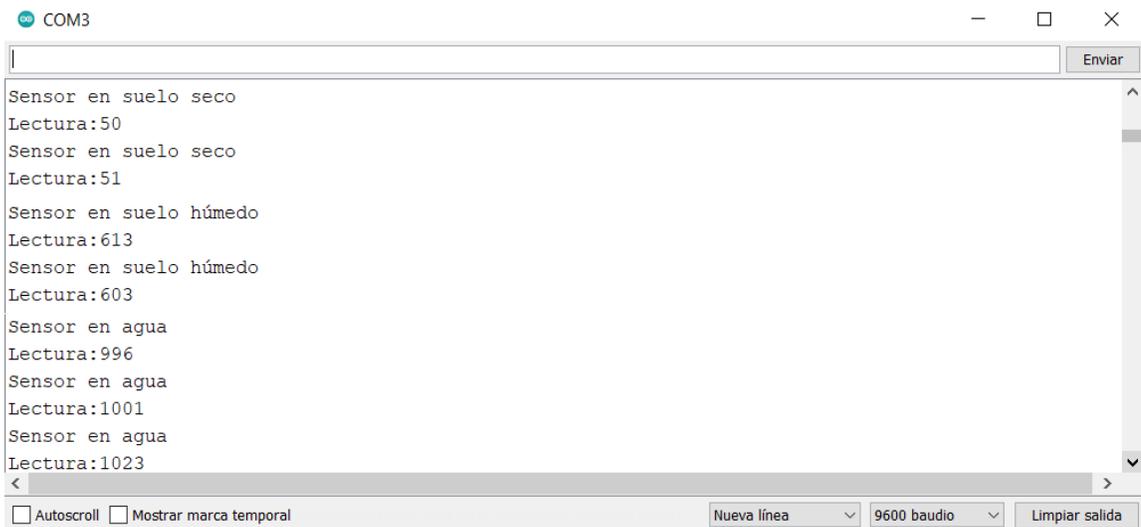
A screenshot of a serial terminal window titled 'COM3'. The window displays 13 lines of data for a DHT11 sensor. Each line shows 'Current humidity = [value]%' and 'temperature = [value]°C'. The humidity values range from 66.00% to 51.00%, and the temperature values are consistently 24.00°C. The bottom control bar shows 'Autoscroll' (checked), 'Mostrar marca temporal' (unchecked), 'Nueva línea' (dropdown), '9600 baudio' (dropdown), and 'Limpiar salida' (button).

```
Current humidity = 66.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 60.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 57.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 55.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 54.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 53.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 52.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 52.00% temperature = 24.00C
Current humidity = 51.00% temperature = 24.00C
```

Figura 5.9 Prueba del sensor de temperatura y humedad DHT11, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 5.10** Prueba del sensor NPK, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 5.11** Prueba del sensor de humedad del suelo Fc-28, [Elaboración propia, 2021].

### 5.3. Implementación del módulo energético M5

El módulo 5 se encarga de la distribución energética para cada módulo, se decidió usar la batería de plomo recargable Power Sonic de 12v a 1.4 AH, la cual cuenta con una duración de hasta 20hrs de trabajo.

<b>Voltaje Nominal</b>	12 volts (6 celdas)
<b>Capacidad Nominal</b>	
20-hr. (70mA a 10.50 volts)	1.40 AH
10-hr. (130mA a 10.50 volts)	1.30 AH
5-hr. (240mA a 10.20 volts)	1.20 AH
1-hr. (850mA a 9.00 volts)	0.85 AH
<b>Peso Aproximado</b>	1.20 lbs. (0.54 kg)
<b>Resistencia Interna (Aprox.)</b>	100.0 miliohms
<b>Corriente de descarga máxima de corta duración (10 seg.)</b> 14.0 amperes	
<b>Vida útil (% de la capacidad nominal a 68 ° F (20 ° C))</b>	
1 Mes	97%
3 Meses	91%
6 mese	83%

**Figura 5.12** Especificaciones de la batería recargable Power Sonic de 12/1.4AH.

### 5.3.1. Verificación del módulo energético M5

Para la verificación del módulo se implementó un adaptador de corriente de 12v/4A, ya que hubo problema de envío con la batería y no ha llegado. El adaptador que se implementó cuenta con las siguientes características.

■ Electric Characteristic:		
No.	Item.	Specification
1	Rated Input Voltage	AC 110V OR AC240V
	Vibration Input Voltage Range	AC95V-265V
2	Input Rated Current	0.4-0.6AMP
	Input Power	
3	Efficiency	>88%(TYP)
	Out power	120W
4	Output voltage:12V/15V/16V/18V/19V/20V/24V(0/+0.5V NOLOAD)	DC 12V-24V
5	Output voltage:12V/15V/16V/18V/19V/20V/24V(-0 4/0.5V@rating load)	DC 12V-24V
6	Output current:12V-20V/4.5A@24V/4.0A	4.5AMP(max)
7	Overload protection	YES
8	Short Circuit Protection	YES
9	Ripple Noise	500mV
10	Line Regulation	1%
11	Load Regulation	1%

**Figura 5.13** Características eléctricas del adaptador de corriente.

## 5.4. Implementación de la interfaz hombre máquina M6

Es el módulo que se encarga de la transferencia de los datos una vez registrados mediante los sensores y se llevan al almacenamiento de la memoria de la tarjeta raspberry para posteriormente su descarga y análisis.

### 5.4.1. Verificación del módulo de la interfaz hombre máquina

Primero se realizó la comunicación serial de Arduino con tarjeta raspberry, una vez teniendo la comunicación se procedió a la transferencia de los datos que ya fueron tomados mediante los sensores, mediante la comunicación serial con TX y RX, así logramos visualizar los datos en la tarjeta raspberry, una vez hecho los trasladamos a la interfaz para su visualización gráfica.



**Figura 5.14** Comunicación serial de Arduino con la tarjeta raspberry, [Elaboración propia, 2021].

Para la Figura 5.15 se establece cuando el robot se encuentra en reposo para realizar la conexión de forma manual por el operador.

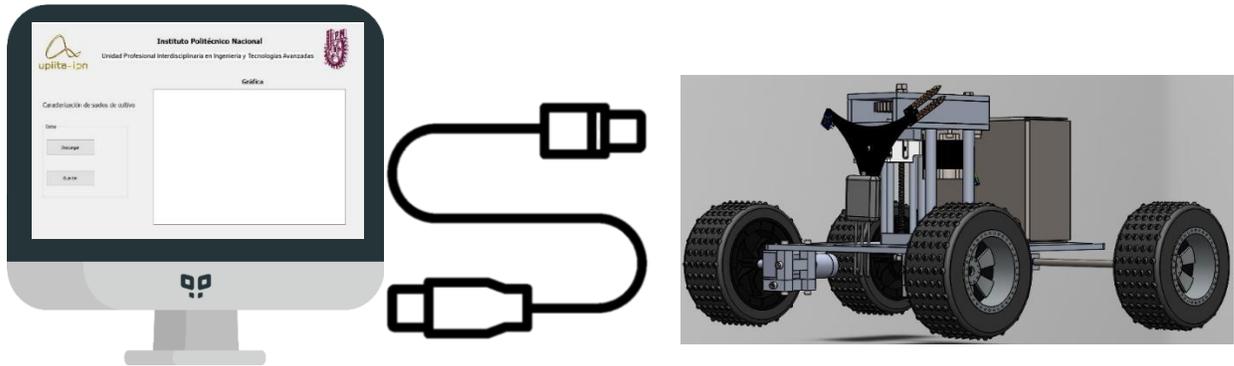


Figura 5.15 Interfaz hombre-máquina, [Elaboración propia, 2021].

Una vez que se tienen los datos se trasladan a la interfaz correspondiente, en el caso de la visualización de la irradiancia refractada a través de la resta entre la radiación incidente y la reflejada se muestra de la siguiente manera.

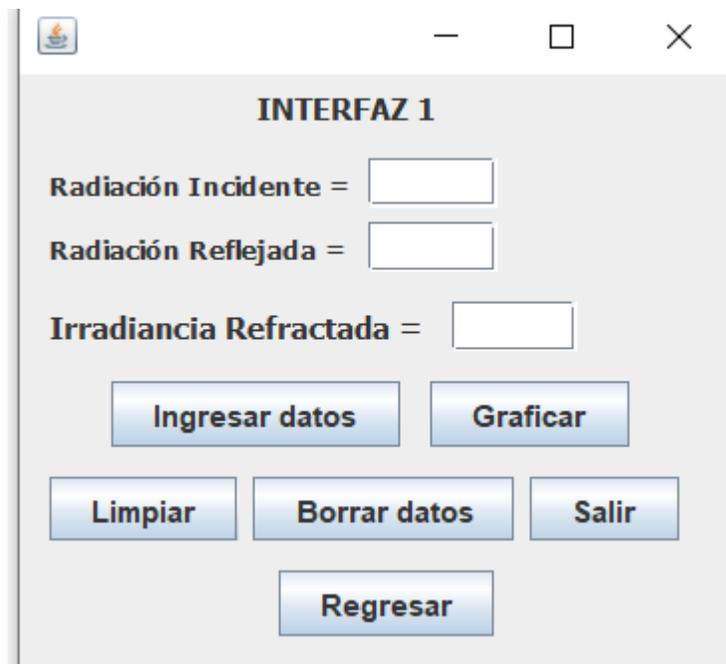


Figura 5.16 Interfaz Irradiancia, [Elaboración propia, 2021].

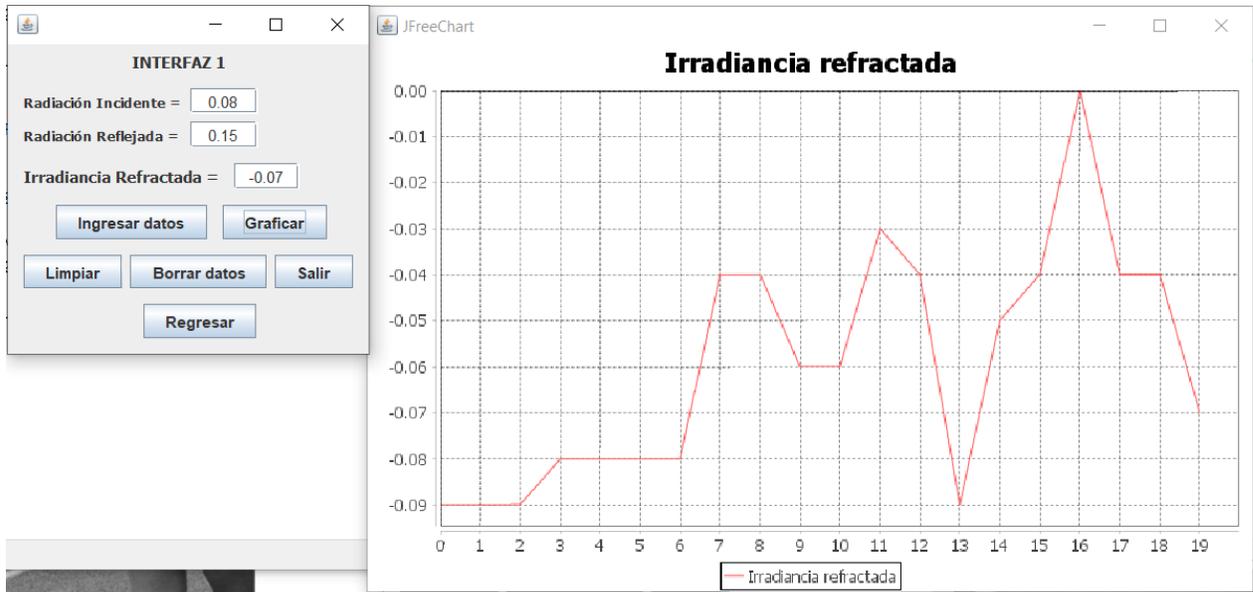
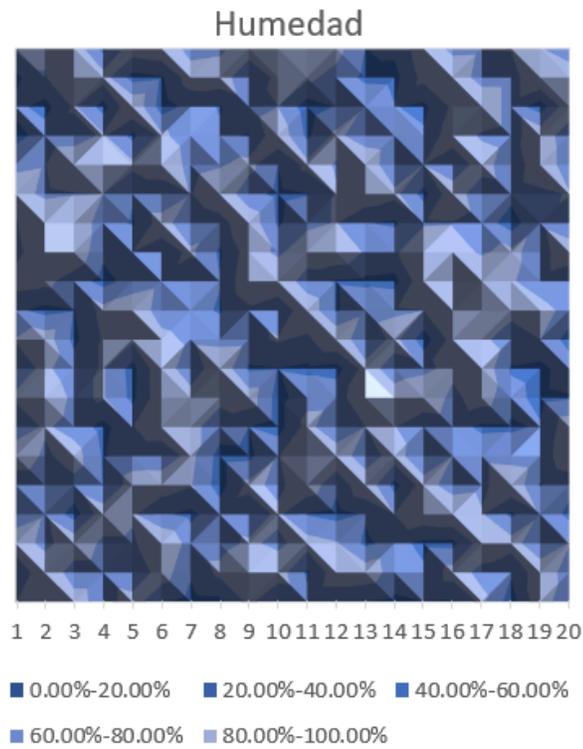


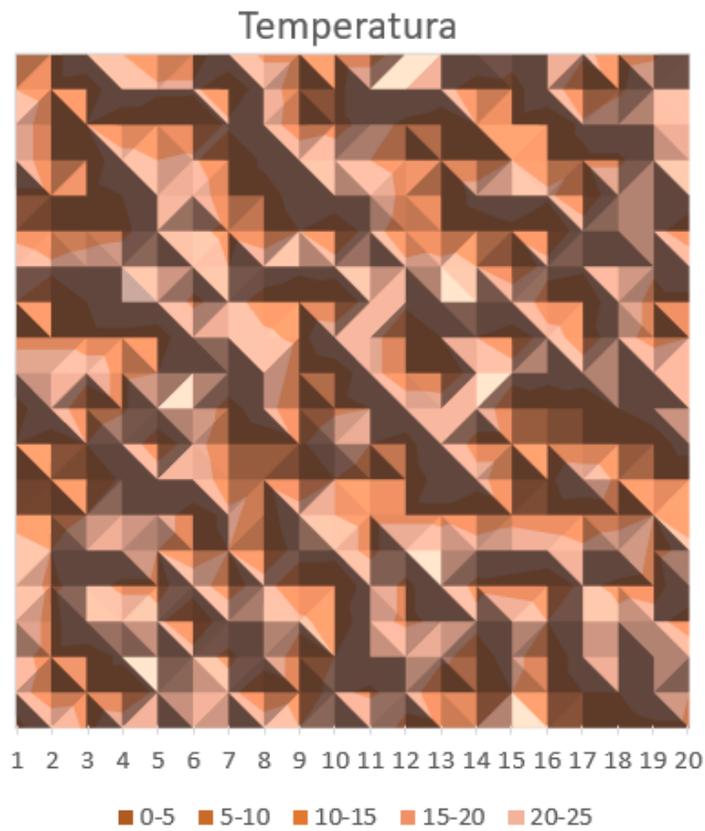
Figura 5.17 Gráfica de la irradiancia refractada, [Elaboración propia, 2021].

Muestra	Temp. ambiente	Temp. objeto	Current humidity	temperature	output	ML8511 output	ML8511 voltage	UV Intensity (mW/cm <sup>2</sup> )	4D4C3835313120	65786160706C65	DAFFFFFFFFF	Nitrogen	Phosphorous	Potassium	S
1	23.85°C	21.71°C	66.00%	24.00C	290	202	2.3	10.84				36	118	175	
2	23.85°C	21.71°C	60.00%	24.00C	281	201	2.36	11.36				35	103	164	
3	23.85°C	21.71°C	57.00%	24.00C	283	201	2.34	11.22				47	105	167	
4	23.85°C	21.71°C	55.00%	24.00C	289	202	2.31	10.91				36	100	162	
5	23.85°C	21.71°C	54.00%	24.00C	285	201	2.33	11.08				49	101	171	
6	23.85°C	21.71°C	53.00%	24.00C	285	201	2.33	11.08				32	115	165	
7	23.85°C	21.71°C	52.00%	24.00C	287	201	2.32	11.04				37	105	170	
8	23.85°C	21.71°C	52.00%	24.00C	286	201	2.32	11.02				37	108	173	
9	23.85°C	21.71°C	51.00%	24.00C	287	201	2.31	10.95				37	108	166	
10	23.85°C	21.71°C	51.00%	24.00C	284	201	2.34	11.15				49	100	171	
11	23.85°C	21.71°C	51.00%	24.00C	288	201	2.3	10.88				50	103	162	
12	23.85°C	21.71°C	51.00%	24.00C	288	201	2.3	10.88				38	106	167	
13	23.85°C	21.71°C	51.00%	24.00C	283	201	2.34	11.22				44	108	165	
14	23.85°C	21.71°C	54.00%	24.00C	283	201	2.34	11.22				50	107	177	
15	23.85°C	21.71°C	54.00%	24.00C	283	201	2.34	11.22				36	115	171	
16	23.85°C	21.71°C	55.00%	24.00C	286	201	2.32	11.02				43	109	177	
17	23.85°C	21.71°C	53.00%	24.00C	284	201	2.34	11.15				43	101	172	
18	23.85°C	21.71°C	52.00%	24.00C	282	201	2.35	11.29				36	103	163	
19	23.85°C	21.71°C	52.00%	24.00C	287	202	2.32	11.04				39	118	177	
20	23.85°C	21.71°C	50.05%	24.00C	284.35	201.0526316	2.331403509	11.13280702				40	107	172	
21	23.85°C	21.71°C	49.67%	24.00C	284.25	201.0421053	2.331859649	11.13782456				34	119	166	
22	23.85°C	21.71°C	49.28%	24.00C	284.16	201.0315789	2.332315789	11.14284211				35	107	165	
23	23.85°C	21.71°C	48.90%	24.00C	284.06	201.0210526	2.33277193	11.14785965				38	118	163	
24	23.85°C	21.71°C	48.52%	24.00C	283.96	201.0105263	2.33322807	11.15287719				30	106	180	
25	23.85°C	21.71°C	48.13%	24.00C	283.87	201	2.33684211	11.15289474				46	109	164	
26	23.85°C	21.71°C	47.75%	24.00C	283.77	200.9894737	2.334140351	11.16291228				49	120	166	

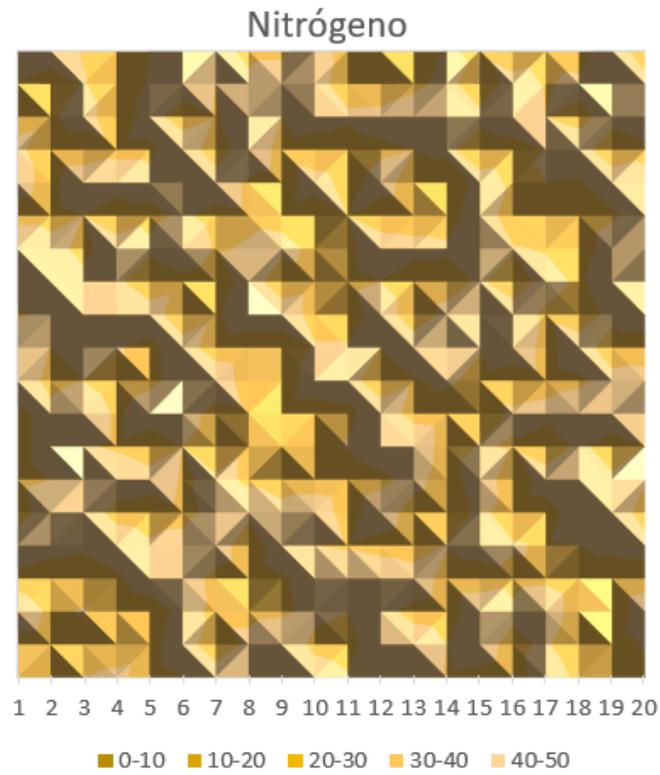
Figura 5.18 Muestreo de datos, [Elaboración propia, 2021].



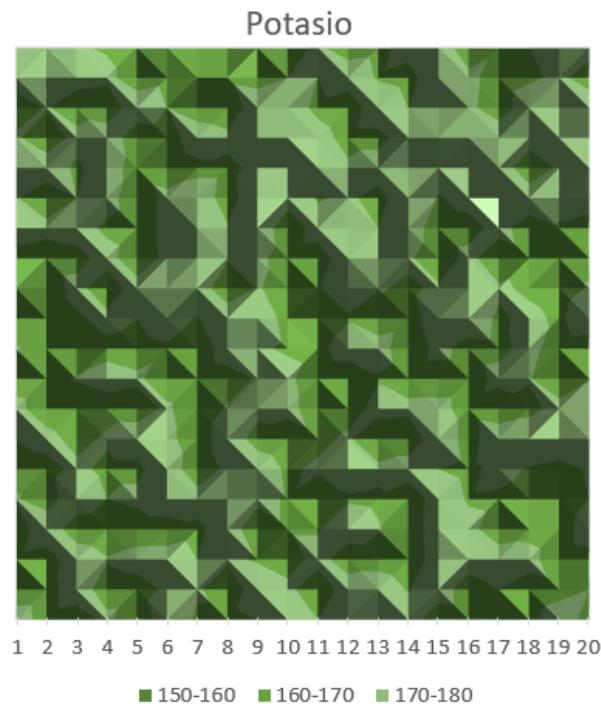
**Figura 5.19** Gráfica del sensor de Humedad, [Elaboración propia, 2021].



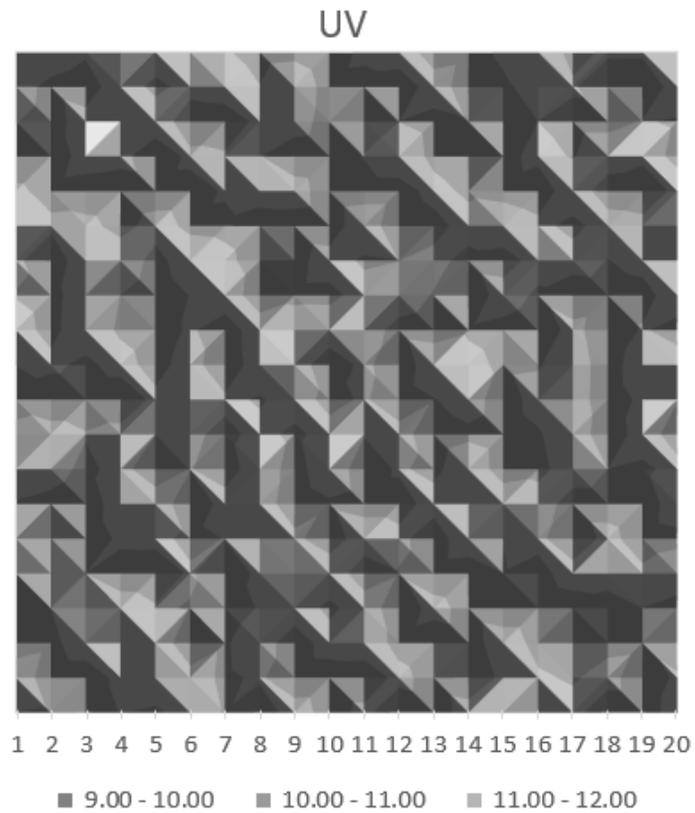
**Figura 5.20** Gráfica del sensor de Temperatura, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 5.21** Gráfica del sensor NPK, mostrando como dato el Nitrógeno, [Elaboración propia, 2021].

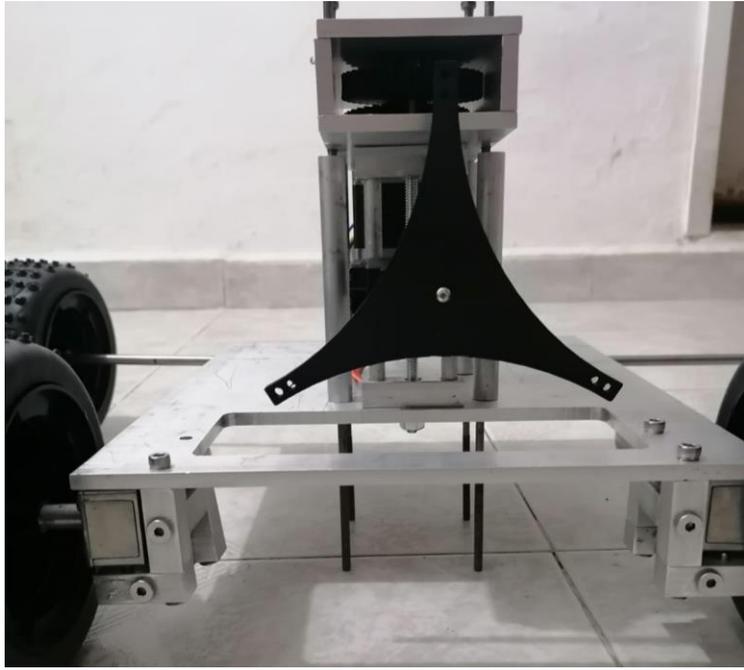


**Figura 5.22** Gráfica del sensor NPK, mostrando como dato el Potasio, [Elaboración propia, 2021].



**Figura 5.23** Gráfica del sensor UV, [Elaboración propia, 2021].

Los resultados se abordaron por cada área funcional tomándolo en cuenta desde la mecatrónica. Para la movilidad de nuestro prototipo con los sensores, se logró el sistema capaz de recolectar los datos requeridos para el posterior análisis.



**Figura 5.24** Sistema mecatrónico, [Elaboración propia, 2021].

# Conclusión

---

En el desarrollo de este trabajo se logró el diseño y la construcción de un prototipo robotizado capaz de recolectar los datos requeridos por medio de sensores para su posterior análisis visualizándolos en la interfaz gráfica por un usuario. Se probó cada área funcional del prototipo, en la parte del módulo energético se utilizó un eliminador de 12V-20V/4.5A max 24V/4A max, sin embargo, queda a criterio del usuario interesado.

Para la ruta de la trayectoria se tiene que modificar dependiendo de la superficie a muestrear para colocar el tiempo de traslado del prototipo de un lugar a otro, el giro también dependerá de la superficie en que se muestree.

En cuanto a la recolección de los datos tomados por los sensores no hubo mayor problema, sin embargo, el elevador de sensores tarda mucho en la subida y bajada para la toma de muestras por el motor utilizado, se sugiere el reemplazo del motor de posicionamiento para aumentar la potencia de elevación y consecuentemente reducir el tiempo de operación.

se tendrá que ajustar otro motor para darle mayor potencia y logré bajar y subir con mayor velocidad, en estos momentos de pruebas no me fue posible cambiarlo por el presupuesto para el prototipo, el único detalle es la velocidad en que sube y baja fuera de eso hace su función perfectamente cumpliendo con las tomas de muestras requeridas.

Para la transferencia de nuestros datos recolectados se logró la comunicación serial de Arduino a la tarjeta raspberry, una vez establecida la comunicación serial se trasladaron los datos a la computadora y se ingresan manualmente por un usuario en las interfaces requeridas quedando disponibles para su visualización y posterior análisis por parte de los especialistas involucrados.

Se cumplió sin problema con estas interfaces dándonos una visualización gráfica de todos nuestros datos requeridos.

# Referencias

---

- [1] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, «Encuesta nacional agropecuaria 2017,» 25 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2019].
- [2] H. Deras Flores, «Guía técnica: El cultivo del maíz,» Ministerio de agricultura y ganadería, El Salvador, 2016.
- [3] R. Domínguez Giménez de Cisneros y T. Guerrero Villavieja, «Robot controlado por ordenador,» Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2010.
- [4] T. Castro, B. Mar, R. Longoria, L. G. Ruíz Suárez y L. Morales, «Surface albedo measurements in Mexico City metropolitan area,» *Atmósfera*, vol. 14, n° 2, pp. 69-74, 2000.
- [5] P. G. Kosmopoulos, S. Kazadzis, M. Taylor, P. I. Raptis, I. Keramitsoglou, C. Kiranoudis y A. F. Bais, «Assessment of surface solar irradiance derived from real-time modelling techniques and verification with ground-based measurements,» *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 11, n° 2, pp. 907-924, 2018.
- [6] J. Singh y R. P. Singh, «Adverse Effects of UV-B Radiation on Plants Growing at Schirmacher Oasis, East Antarctica,» National Center for Biotechnology Information, 21 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3989906/>. [Último acceso: 18 Junio 2019].
- [7] R. Escobar Bravo, G. Chen, H. Kyong Kim, K. Grosser, N. M. van Dam, K. A. Leiss y P. G. L. Klinkhamer, «Ultraviolet radiation exposure time and intensity modulate tomato resistance to herbivory through activation of jasmonic acid signaling,» *Journal of Experimental Botany*, vol. 70, n° 1, p. 315–327, 2019.
- [8] TRAXCO S.A., «Suelos de cultivo,» 17 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/suelos-de-cultivo>. [Último acceso: 25 Enero 2020].
- [9] D. F. Jaramillo, «Introducción a la ciencia del suelo,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2002.
- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «Base Referencial Mundial,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/base-referencial-mundial/es/>. [Último acceso: 25 Enero 2020].
- [1] ISO, «ISO 11465:1993 Soil quality - Determination of dry matter and water content on a mass basis — Gravimetric method,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/20886.html>. [Último acceso: 28 Enero 2020].

- [1] GLOBE, «Investigación de suelos,» 2005. [En línea]. Available:  
 2] [https://www.globe.gov/documents/10157/381040/soil\\_chap\\_es.pdf](https://www.globe.gov/documents/10157/381040/soil_chap_es.pdf). [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [1] Infoagro Systems, S.L., «EL CULTIVO DEL MAÍZ,» 2020. [En línea]. Available:  
 3] <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>. [Último acceso: 15 Enero 2020].
- [1] A. Calvo, «Análisis de suelos agrícolas: guía práctica,» 27 Diciembre 2017. [En línea].  
 4] Available: <https://www.agroptima.com/es/blog/analisis-de-suelos-agricolas/>. [Último acceso: 15 Enero 2020].
- [1] Ministerio de Educación, «Efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la  
 5] irradiancia,» Gobierno de España, 2019. [En línea]. Available:  
[http://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11\\_efecto\\_del\\_angulo\\_de\\_incidencia\\_de\\_los\\_r  
 ayos\\_solares\\_sobre\\_la\\_irradiacion.html](http://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11_efecto_del_angulo_de_incidencia_de_los_rayos_solares_sobre_la_irradiacion.html). [Último acceso: 16 Enero 2020].
- [1] F. Braz Tangerino, M. I. Ferreira, M. A. Moreno Hidalgo, E. Playán, I. Pulido Calvo, L.  
 6] Rodríguez Sinobas, J. M. Tarjuelo y R. Serralheiro, «Visión del regadío,» *Ingeniería del  
 agua*, vol. 18, nº 1, pp. 39-54, 2014.
- [1] Ministerio de Educación, «Balance térmico,» Gobierno de España, 2019. [En línea].  
 7] Available: [http://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/62\\_balance\\_trmico.html](http://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/62_balance_termico.html). [Último  
 acceso: 21 Enero 2020].
- [1] «Ideam,» Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [En línea].  
 8] Available: [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-  
 solar](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar). [Último acceso: Noviembre 2020].
- [1] G. Lazea y E. Lupu, «Aspects on path planning for mobile robots,» Technical University of  
 9] Cluj-Napoca, 2001. [En línea]. Available:  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.7921&rep=rep1&type=pdf>.  
 [Último acceso: 12 Marzo 2020].
- [2] National Aeronautics and Space Administration, «¿Cómo funciona el GPS?,» 27 Junio 2019.  
 0] [En línea]. Available: <https://spaceplace.nasa.gov/gps/en/>. [Último acceso: 18 Marzo 2020].
- [2] J. C. Osorio Gómez y J. P. Orejuela Cabrera, «El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la  
 1] toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación,» *Scientia Et Technica*, vol. 14, nº  
 39, pp. 247-252, 2008.
- [2] NORA, «Texto,» 15 Febrero 1995. [En línea]. Available: [www.http://holamundo.com](http://www.holamundo.com).  
 2] [Último acceso: 27 Noviembre 2021].

## 8.1. Parámetros de mediciones del sensor NPK

Measurement parameters

parameter	Technical Indicators
measuring range	0-2000 mg/kg
measurement accuracy	2% F.s
Resolving power	1 mg/kg (mg/l)
Response time (T90, seconds)	Less than 10
working temperature	From 5 to 45 degrees Celsius
Working humidity	5 to 95% (relative humidity), no condensation
Guarantee Period	Quality assurance of main engine for 2 years and probe for 1 year
baud rate	2400/4800/9600
Communication Port	RS485
Power supply	12V-24V DC

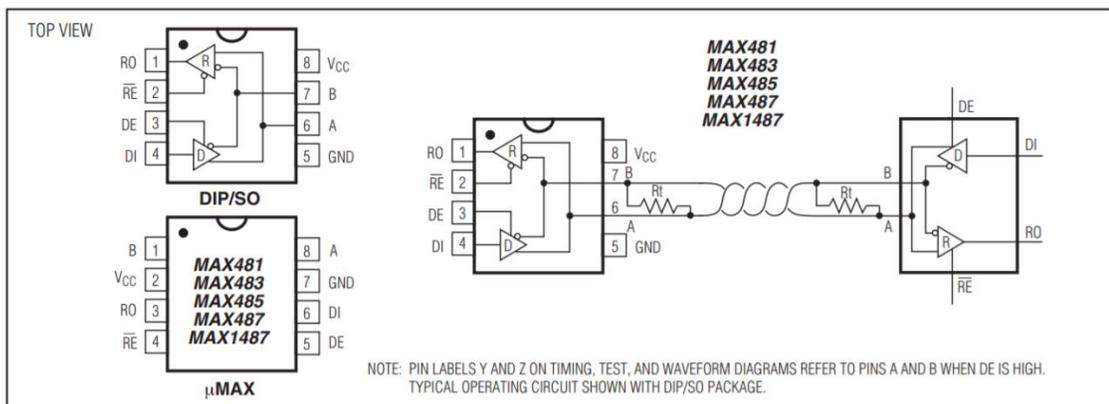
## 8.2. Hoja de especificaciones Módulo MAX485

### **MAX481/MAX483/MAX485/ MAX487-MAX491/MAX1487**

### **Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers**

#### **Pin Description**

PIN					NAME	FUNCTION
MAX481/MAX483/ MAX485/MAX487/ MAX1487		MAX488/ MAX490		MAX489/ MAX491		
DIP/SO	μMAX	DIP/SO	μMAX	DIP/SO		
1	3	2	4	2	RO	Receiver Output: If $A > B$ by 200mV, RO will be high; If $A < B$ by 200mV, RO will be low.
2	4	—	—	3	$\overline{RE}$	Receiver Output Enable. RO is enabled when $\overline{RE}$ is low; RO is high impedance when $\overline{RE}$ is high.
3	5	—	—	4	DE	Driver Output Enable. The driver outputs, Y and Z, are enabled by bringing DE high. They are high impedance when DE is low. If the driver outputs are enabled, the parts function as line drivers. While they are high impedance, they function as line receivers if $\overline{RE}$ is low.
4	6	3	5	5	DI	Driver Input. A low on DI forces output Y low and output Z high. Similarly, a high on DI forces output Y high and output Z low.
5	7	4	6	6, 7	GND	Ground
—	—	5	7	9	Y	Noninverting Driver Output
—	—	6	8	10	Z	Inverting Driver Output
6	8	—	—	—	A	Noninverting Receiver Input and Noninverting Driver Output
—	—	8	2	12	A	Noninverting Receiver Input
7	1	—	—	—	B	Inverting Receiver Input and Inverting Driver Output
—	—	7	1	11	B	Inverting Receiver Input
8	2	1	3	14	VCC	Positive Supply: $4.75V \leq V_{CC} \leq 5.25V$
—	—	—	—	1, 8, 13	N.C.	No Connect—not internally connected



## 8.3. Hoja de especificaciones Módulo ML8511

# ML8511

## UV Sensor with Voltage Output

### GENERAL DISCRIPTION

The ML8511 is a UV sensor, which is suitable for acquiring UV intensity indoors or outdoors. The ML8511 is equipped with an internal amplifier, which converts photo-current to voltage depending on the UV intensity. This unique feature offers an easy interface to external circuits such as ADC. In the power down mode, typical standby current is 0.1 $\mu$ A, thus enabling a longer battery life.

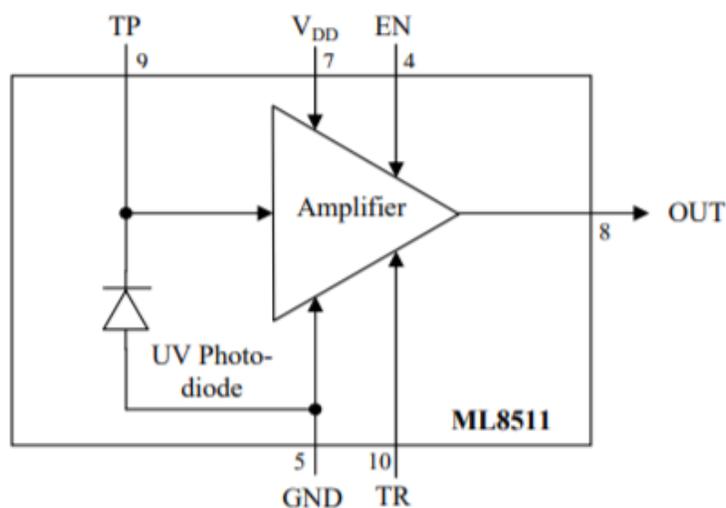
### FEATURES

- Photodiode sensitive to UV-A and UV-B
- Embedded operational amplifier
- Analog voltage output
- Low supply current (300 $\mu$ A typ.) and low standby current (0.1 $\mu$ A typ.)
- Small and thin surface mount package (4.0mm x 3.7mm x 0.73mm, 12-pin ceramic QFN)

### APPLICATIONS

- Smart phone, Watch, Weather station, Bicycle navigation, Accessary, Gaming

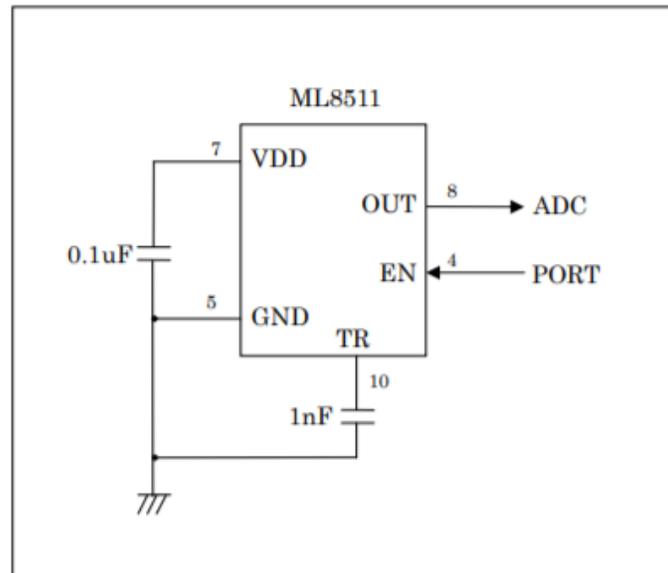
### BLOCK DAIAGRAM



## PIN CONFIGURATIONS

Pin	Symbol	I/O	Function
7	VDD	PW	Supply voltage. Decouple this pin to ground with 0.1 $\mu$ F capacitor.
5	GND	PW	Ground
4	EN	I	Active high enable pin. (High: Active mode, Low: Standby mode)
8	OUT	O	Output (Low in power down or standby mode)
9	TP	I/O	Test pin. Do not connect.
10	TR	I/O	Internal reference voltage. Decouple this pin to ground with 1 nF capacitor.
1,2,3, 6,11,12	NC	-	No Connection. Do not connect.

### EXAMPLE OF CONNCTING DIAGRAM



\* Load resistance of OUT port is recommended more than 100 k $\Omega$ .

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Parameter	Symbol	Condition	Rating	unit
Supply Voltage	$V_{DD}$	$T_a=25\text{ }^\circ\text{C}$	-0.3 to +4.6	V
Input Voltage	$V_I$	$T_a=25\text{ }^\circ\text{C}$	-0.3 to +4.6	V
Output Short Current	$I_{OS}$	$T_a=25\text{ }^\circ\text{C}$	5	mA
Power Dissipation	$P_D$	$T_a=25\text{ }^\circ\text{C}$	30	mW
Storage Temperature	$T_{stg}$	-	-30 to +85	$^\circ\text{C}$

**RECOMENDED OPERATION CONDITIONS**

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	unit
Operating Voltage	$V_{DD}$	2.7	3.3	3.6	V
Operating Temperature	$T_a$	-20	-	70	$^\circ\text{C}$

**ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS** $(V_{DD}=+2.7\text{V to }+3.6\text{V}, T_a= -20^\circ\text{C to }+70^\circ\text{C})$ 

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	unit
Supply Current (active mode)	$I_{DDA}$	$V_{EN}=V_{DD}$	-	300	500	$\mu\text{A}$
Supply Current (standby mode)	$I_{DDs}$	$V_{EN}=0$	-	0.1	1	$\mu\text{A}$
Input Voltage (High level)	$V_{IH}$	-	$V_{DD} \times 0.8$	-	$V_{DD} + 0.3$	V
Input Voltage (Low level)	$V_{IL}$	-	-0.2	-	0.72	V
High level input current	$I_{IH}$	$V_{EN}=V_{DD}$	-	-	1	$\mu\text{A}$
Low level input current	$I_{IL}$	$V_{EN}=0$	-1	-	-	$\mu\text{A}$
Wavelength of maximum sensitivity	$\lambda_p$	$T_a=25^\circ\text{C}$	-	365	-	nm
Output Setup Time	$T_{SU}$	$V_{EN}=V_{DD}$	-	-	1	ms
Output Voltage (Shading) *	$V_{REF}$	$T_a=25^\circ\text{C},$ $V_{EN}=V_{DD}$	0.95	1.0	1.05	V
Output Voltage (10mW/cm <sup>2</sup> at $\lambda_p$ ) *	$V_O$	$T_a=25^\circ\text{C},$ $V_{EN}=V_{DD}$	2.08	2.2	2.32	V

\* Load resistance of OUT port is recommended more than 100 k $\Omega$ .

## 8.4. Hoja de especificaciones sensor MLX90614



# MLX90614 family

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

### Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
  - 40...+125°C for sensor temperature and
  - 70...+380°C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C in a wide temperature range (0...+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8...16V applications
- Sleep mode for reduced power consumption
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

### Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning
- Windshield defogging
- Automotive blind angle detection
- Industrial temperature control of moving parts
- Temperature control in printers and copiers
- Home appliances with temperature control
- Healthcare
- Livestock monitoring
- Movement detection
- Multiple zone temperature control – up to 127 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay / alert
- Body temperature measurement

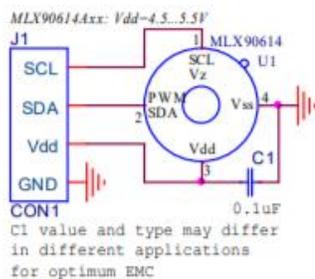
### Ordering Information



Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code - X X X (1) (2) (3)	Standard part -000	Packing form -TU
MLX90614	E (-40°C...85°C) K (-40°C...125°C)	SF (TO-39)			
(1) Supply Voltage/ Accuracy A - 5V B - 3V C - Reserved D - 3V medical accuracy		(2) Number of thermopiles: A – single zone B – dual zone C – gradient compensated*		(3) Package options: A – Standard package B – Reserved C – 35° FOV D/E – Reserved F – 10° FOV G – Reserved H – 12° FOV (refractive lens) I – 5° FOV	

**Example:**  
MLX90614ESF-BAA-000-TU \* : See page 2

## 1 Functional diagram



**MLX90614 connection to SMBus**

**Figure 1: Typical application schematics**

## 2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

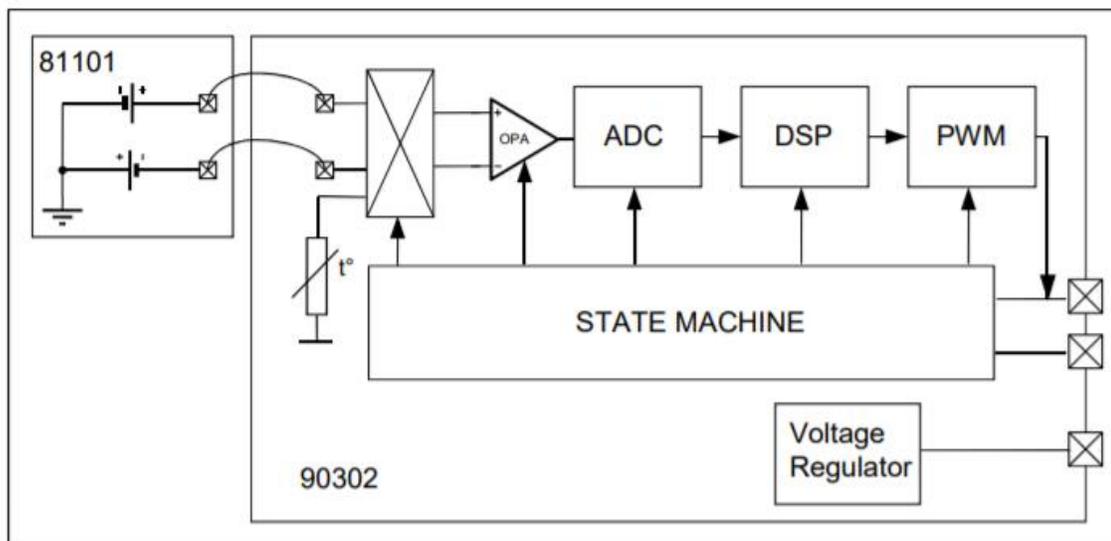
The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus (System Management Bus) output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20...120°C, with an output resolution of 0.14°C.

The factory default POR setting is SMBus.

## 8 Detailed description

### 8.1 Block diagram



**Figure 3: Block diagram**

## 8.5. Hoja de especificaciones 7805

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

March 2008

### LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

#### Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

#### General Description

The LM78XX series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

#### Block Diagram

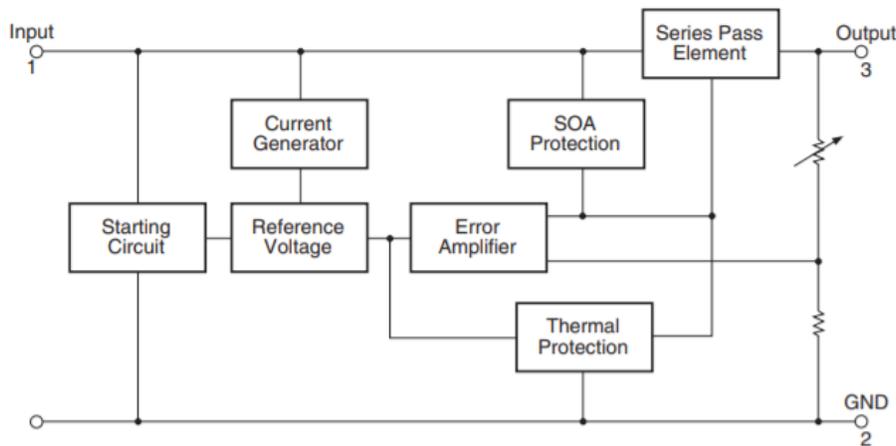


Figure 1.

#### Pin Assignment

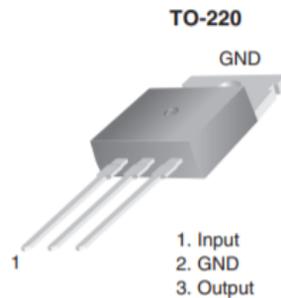


Figure 2.

LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Symbol	Parameter		Value	Unit
$V_I$	Input Voltage	$V_O = 5V$ to 18V	35	V
		$V_O = 24V$	40	V
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)		5	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)		65	$^{\circ}C/W$
$T_{OPR}$	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^{\circ}C$
		LM78xxA	0 to +125	
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		-65 to +150	$^{\circ}C$

## 8.6. Hoja de especificaciones IR2112

International  
**IR** Rectifier

Data Sheet No. PD60026 revS

**IR2112(-1-2)(S)PbF**

### HIGH AND LOW SIDE DRIVER

#### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
- Fully operational to +600V
- Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

#### Description

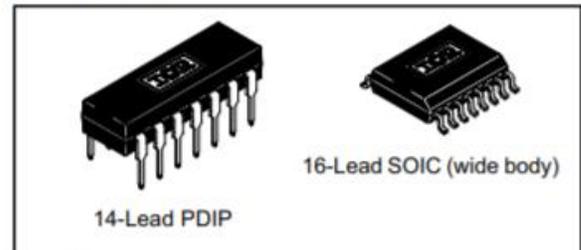
The IR2112(S) is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL outputs, down to 3.3V logic.

The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

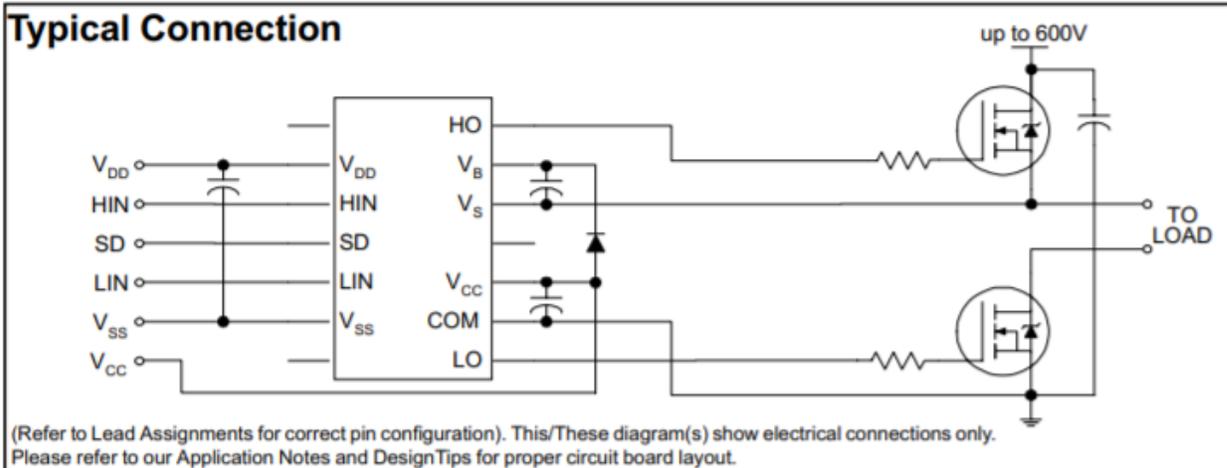
#### Product Summary

$V_{\text{OFFSET}}$	600V max.
$I_{\text{O}+/-}$	200 mA / 420 mA
$V_{\text{OUT}}$	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	125 & 105 ns
Delay Matching	30 ns

#### Packages



#### Typical Connection



## Absolute Maximum Ratings

Absolute Maximum Ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The Thermal Resistance and Power Dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>B</sub>	High Side Floating Supply Voltage	-0.3	625	V	
V <sub>S</sub>	High Side Floating Supply Offset Voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>HO</sub>	High Side Floating Output Voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>CC</sub>	Low Side Fixed Supply Voltage	-0.3	25		
V <sub>LO</sub>	Low Side Output Voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>DD</sub>	Logic Supply Voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25		
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Offset Voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>IN</sub>	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3		
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable Offset Supply Voltage Transient (Figure 2)	—	50	V/ns	
P <sub>D</sub>	Package Power Dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C	(14 Lead DIP)	—	1.6	W
		(16 Lead SOIC)	—	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	(14 Lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 Lead SOIC)	—	100	
T <sub>J</sub>	Junction Temperature	—	150	°C	
T <sub>S</sub>	Storage Temperature	-55	150		
T <sub>L</sub>	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	—	300		

## Recommended Operating Conditions

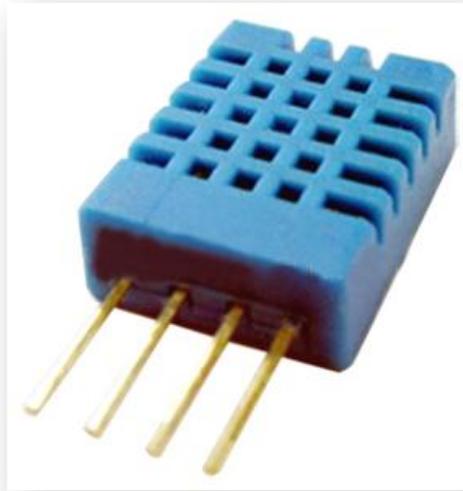
The Input/Output logic timing diagram is shown in Figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in Figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High Side Floating Supply Absolute Voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High Side Floating Supply Offset Voltage	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High Side Floating Output Voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low Side Fixed Supply Voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low Side Output Voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic Supply Voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Offset Voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient Temperature	-40	125	°C

**Note 1:** Logic operational for V<sub>S</sub> of -5 to +600V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -5V to -V<sub>BS</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

**Note 2:** When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

## 8.7. Hoja de especificaciones del sensor DHT11



Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

### 2. Technical Specifications:

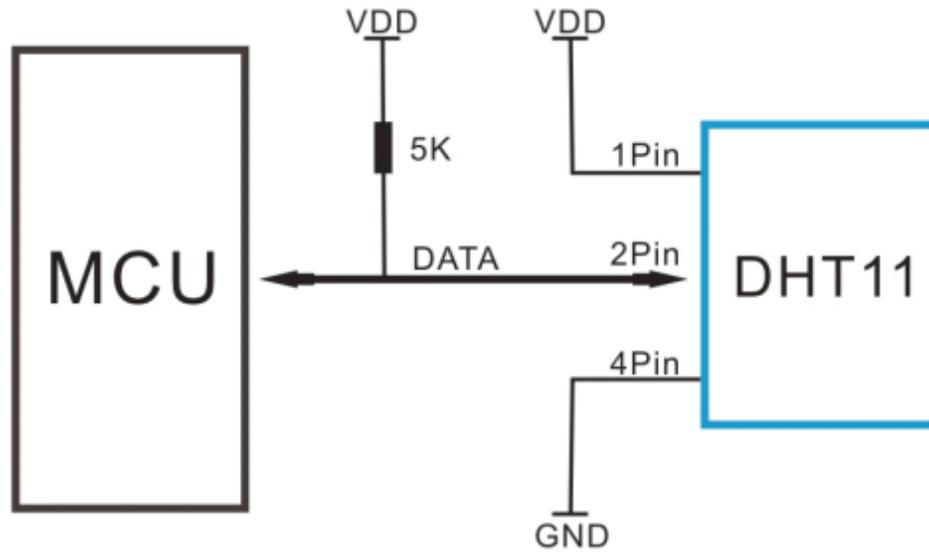
#### Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

### Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
<b>Humidity</b>				
<b>Resolution</b>		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
<b>Repeatability</b>			± 1%RH	
<b>Accuracy</b>	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
<b>Interchangeability</b>	Fully Interchangeable			
<b>Measurement Range</b>	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
<b>Response Time (Seconds)</b>	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
<b>Hysteresis</b>			± 1%RH	
<b>Long-Term Stability</b>	Typical		± 1%RH/year	
<b>Temperature</b>				
<b>Resolution</b>		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
<b>Repeatability</b>			± 1°C	
<b>Accuracy</b>		± 1°C		± 2°C
<b>Measurement Range</b>		0°C		50°C
<b>Response Time (Seconds)</b>	1/e(63%)	6 S		30 S

### 3. Typical Application (Figure 1)



**Figure 1 Typical Application**

Note: 3Pin – Null; MCU = Micro-computer Unite or single chip Computer

When the connecting cable is shorter than 20 metres, a 5K pull-up resistor is recommended; when the connecting cable is longer than 20 metres, choose a appropriate pull-up resistor as needed.

## 8.8. Códigos implementados para la movilidad del vehículo

```
import RPi.gpio as gpio
import time

from gpiozero import Servo
from time import sleep

PUL = 5 # Stepper Drive Pulses
DIR = 6 # Controller Direction Bit (High for Controller default / LOW to Force a Direction
Change).21
ENA = 13 # Controller Enable Bit (High to Enable / LOW to Disable).

gpio.setmode(gpio.BCM)

gpio.setup(PUL, gpio.OUT)
gpio.setup(DIR, gpio.OUT)
gpio.setup(ENA, gpio.OUT)

servo = Servo(25,min_pulse_width=.00055,max_pulse_width=.00245)

gpio.setup(27, gpio.OUT)
gpio.setup(22, gpio.OUT)
gpio.setup(23, gpio.OUT)
gpio.setup(24, gpio.OUT)

print('Initialization Completed')

durationFwd = 150000 # This is the duration of the motor spinning. used for forward direction
durationBwd = 150000 # This is the duration of the motor spinning. used for reverse direction
print('Duration Fwd set to ' + str(durationFwd))
print('Duration Bwd set to ' + str(durationBwd))

delay = .00000001 # This is actually a delay between PUL pulses - effectively sets the mtor rotation
speed.
print('Speed set to ' + str(delay))

cycles = 1000 # This is the number of cycles to be run once program is started.
cyclecount = 0 # This is the iteration of cycles to be run once program is started.
print('number of Cycles to Run set to ' + str(cycles))
```

```

def abajo(pulsos):
    gpio.output(ENA, gpio.HIGH)

    print('ENA set to HIGH - Controller Enabled')

    sleep(.5) # pause due to a possible change direction
    gpio.output(DIR, gpio.LOW)

    print('DIR set to LOW - Moving Forward at ' + str(delay))
    print('Controller PUL being driven.')
    for x in range(pulsos):
        gpio.output(PUL, gpio.HIGH)
        sleep(delay)
        gpio.output(PUL, gpio.LOW)
        sleep(delay)
    gpio.output(ENA, gpio.LOW)

    print('ENA set to LOW - Controller Disabled')
    sleep(.5) # pause for possible change direction
    return

def arriba(pulsos):
    gpio.output(ENA, gpio.HIGH)

    print('ENA set to HIGH - Controller Enabled')

    sleep(.5) # pause due to a possible change direction
    gpio.output(DIR, gpio.HIGH)

    print('DIR set to HIGH - Moving Backward at ' + str(delay))
    print('Controller PUL being driven.')

    for y in range(pulsos):
        gpio.output(PUL, gpio.HIGH)
        sleep(delay)
        gpio.output(PUL, gpio.LOW)
        sleep(delay)
    gpio.output(ENA, gpio.LOW)

    print('ENA set to LOW - Controller Disabled')
    sleep(.5) # pause for possible change direction

```

```

    return

def muestreo():
    print ("moviendo revolver a primer sensor")
    servo.value=-1
    print ("bajando revolver")
    abajo(1500000)

##### Código de muestreo primer sensor

    print("subiendo revolver para girar")
    arriba(500000)
    print("moviendo revolver a segundo sensor")
    servo.value=0.5
    print("bajando revolver")
    abajo(500000)

##### Código de muestreo segundo sensor

    print("subiendo revolver")
    arriba(1500000)

def forward(sec):

    gpio.output(27, True)
    gpio.output(22, False)
    gpio.output(23, True)
    gpio.output(24, False)
    time.sleep(sec)
    gpio.output(27, False)
    gpio.output(22, False)
    gpio.output(23, False)
    gpio.output(24, False)

def reverse(sec):

    gpio.output(27, False)
    gpio.output(22, True)
    gpio.output(23, False)
    gpio.output(24, True)

```

```
time.sleep(sec)
gpio.output(27, False)
gpio.output(22, False)
gpio.output(23, False)
gpio.output(24, False)
```

```
def turnCC(sec):
```

```
    gpio.output(27, False)
    gpio.output(22, True)
    gpio.output(23, True)
    gpio.output(24, False)
    time.sleep(sec)
    gpio.output(27, False)
    gpio.output(22, False)
    gpio.output(23, False)
    gpio.output(24, False)
```

```
def turnC(sec):
```

```
    gpio.output(27, True)
    gpio.output(22, False)
    gpio.output(23, False)
    gpio.output(24, True)
    time.sleep(sec)
    gpio.output(27, False)
    gpio.output(22, False)
    gpio.output(23, False)
    gpio.output(24, False)
```

```
try:
```

```
    while True:
```

```
        print ("adelante")
        forward(6)
```

```
    muestreo()
```

```
print ("grio reloj 90 grados")  
turnC(7.5)
```

```
print ("adelante")  
forward(4)
```

```
muestreo()
```

```
print ("grio reloj 90 grados")  
turnC(7.5)
```

```
print ("adelante")  
forward(6)
```

```
muestreo()
```

```
print ("grio reloj 90 grados")  
turnC(7.5)
```

```
print ("adelante")  
forward(4)
```

```
except KeyboardInterrupt:  
print("Program stopped")
```

## 8.9. Códigos de los sensores

Sensor de temperature DHT11

```
#include <dht.h>
```

```
//#include <dth.h>
```

```
// Definimos el pin digital donde se conecta el sensor
```

```
#define DHT_PIN 2
```

```
// Dependiendo del tipo de sensor
```

```
#define DHTTYPE DHT11
```

```
// Inicializamos el sensor DHT11
```

```
dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
void setup() {
```

```
  // Inicializamos comunicación serie
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  // Comenzamos el sensor DHT
```

```
  dht.begin();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  // Esperamos 5 segundos entre medidas
```

```
  delay(5000);
```

```
  // Leemos la humedad relativa
```

```
  float h = dht.readHumidity();
```

```
  // Leemos la temperatura en grados centígrados (por defecto)
```

```
  float t = dht.readTemperature();
```

```
  // Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
```

```
  float f = dht.readTemperature(true);
```

```
  // Comprobamos si ha habido algún error en la lectura
```

```
  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
```

```
    Serial.println("Error obteniendo los datos del sensor DHT11");
```

```
    return;
```

```
  }
```

```
  // Calcular el índice de calor en Fahrenheit
```

```

float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
// Calcular el índice de calor en grados centígrados
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);

Serial.print("Humedad: ");
Serial.print(h);
Serial.print(" %\t");
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(t);
Serial.print(" *C ");
Serial.print(f);
Serial.print(" *F\t");
Serial.print("Índice de calor: ");
Serial.print(hic);
Serial.print(" *C ");
Serial.print(hif);
Serial.println(" *F");

}

```

## GPS

```

#include <SoftwareSerial.h>

#include <TinyGPS.h>

/* This sample code demonstrates the normal use of a TinyGPS object.
   It requires the use of SoftwareSerial, and assumes that you have a
   4800-baud serial GPS device hooked up on pins 4(rx) and 3(tx).
*/

TinyGPS gps;
SoftwareSerial serialgps(4,3);

int year;
byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
unsigned long chars;
unsigned short sentences, failed_checksum;

```

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  serialgps.begin(9600);

  Serial.println("");
  Serial.println("GPS GY-GPS6MV2");
  Serial.println(" ---Buscando señal--- ");
  Serial.println("");
}

void loop()
{
  while (serialgps.available())
  {
    int c = serialgps.read();
    if (gps.encode(c) // Did a new valid sentence come in?
    {
      float latitude, longitude;
      gps.f_get_position(&latitude, &longitude);
      Serial.print("Latitud/Longitud:");
      Serial.print(latitude,5);
      Serial.print(" ");
      Serial.println(longitude, 5);
      gps.crack_datetime(year,month,day,hour,minute,second,hundredths);
      Serial.print("Fecha: "); Serial.print(day, DEC); Serial.print("/");
      Serial.print(month, DEC); Serial.print("/"); Serial.print(year);
      Serial.print(minute, DEC); Serial.print(":"); Serial.print(second, DEC);
      Serial.print("."); Serial.println(hundredths, DEC);
      Serial.print("Altitud (metros): "); Serial.println(gps.f_altitude());
      Serial.print("Rumbo (grados): "); Serial.println(gps.f_course());
      Serial.print("Velocidad(kmph): "); Serial.println(gps.f_speed_kmph());
      Serial.print("Satelites: "); Serial.println(gps.satellites());
      Serial.println();
      gps.stats(&chars, &sentences, &failed_checksum);
    }
  }
}

```

## Sensor UV GYML8511

```
//#include <LiquidCrystal.h>
//LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
//Hardware pin definitions
int UVOUT = A0; //Output from the sensor
int REF_3V3 = A1; //3.3V power on the Arduino board

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  // lcd.begin(16, 2);

  pinMode(UVOUT, INPUT);
  pinMode(REF_3V3, INPUT);

  Serial.println("ML8511 example");
}

void loop()
{
  int uvLevel = averageAnalogRead(UVOUT);
  int refLevel = averageAnalogRead(REF_3V3);

  //Use the 3.3V power pin as a reference to get a very accurate output value from sensor
  float outputVoltage = 3.3 / refLevel * uvLevel;

  float uvIntensity = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Convert the voltage to a UV
intensity level

  Serial.print("output: ");
  Serial.print(refLevel);

  Serial.print("ML8511 output: ");
  Serial.print(uvLevel);

  Serial.print(" / ML8511 voltage: ");
  Serial.print(outputVoltage);

  Serial.print(" / UV Intensity (mW/cm^2): ");
  Serial.print(uvIntensity);
```

```

// lcd.clear();
//lcd.print("UV Ray Intensity");
//lcd.setCursor(0, 1);
//lcd.print(uvIntensity);
//lcd.print(" mW/cm^2");

Serial.println();

delay(800);
}

//Takes an average of readings on a given pin
//Returns the average
int averageAnalogRead(int pinToRead)
{
  byte numberOfReadings = 8;
  unsigned int runningValue = 0;

  for(int x = 0 ; x < numberOfReadings ; x++)
    runningValue += analogRead(pinToRead);
  runningValue /= numberOfReadings;

  return(runningValue);
}

float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

Sensor IF

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>

// Instanciar objeto
Adafruit_MLX90614 termometroIR = Adafruit_MLX90614();

void setup() {
  // Iniciar comunicación serie
  Serial.begin(9600);

```

```

// Iniciar termómetro infrarrojo con Arduino
termometroIR.begin();

}

void loop() {
  // Obtener temperaturas grados Celsius
  float temperaturaAmbiente = termometroIR.readAmbientTempC();
  float temperaturaObjeto = termometroIR.readObjectTempC();

  // Mostrar información
  Serial.print("Temp. ambiente => ");
  Serial.print(temperaturaAmbiente);
  Serial.println("°C");

  Serial.print("Temp. objeto => ");
  Serial.print(temperaturaObjeto);
  Serial.println("°C");

  delay(2000);

  // Si quieres mostrar la información en grados Fahrenheit utiliza las funciones
  // readAmbientTempF() para temperatura ambiente
  // readObjectTempF() para temperatura del objeto
}

```

## Sensor de Tierra

```

const int sensorPin = 10;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sensorPin, INPUT);
}

void loop()
{
  int humedad = digitalRead(sensorPin);
}

```

```

//mandar mensaje a puerto serie en función del valor leído
if (humedad == HIGH)
{
  Serial.println("Encendido");
  //aquí se ejecutarían las acciones
}
delay(1000);
}

```

## Sensor NPK

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

#define RE 5
#define DE 6

//const byte code[]= {0x01, 0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x03, 0x65, 0xCD};
const byte phos[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x01, 0xe4, 0x0c};
const byte nitro[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x01, 0xb5, 0xcc};
const byte pota[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x20, 0x00, 0x01, 0x85, 0xc0};

byte values[11];
//SoftwareSerial mod(2,3);

void setup() {
  Serial.begin(4800);
  Serial1.begin(9600);

  pinMode(RE, OUTPUT);
  pinMode(DE, OUTPUT);

  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); //initialize with the I2C addr 0x3C (128x64)

```

```
delay(500);
display.clearDisplay();
display.setCursor(25, 15);
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.println(" NPK Sensor");
display.setCursor(25, 35);
display.setTextSize(1);
display.print("Initializing");
display.display();
delay(3000);
}
```

```
void loop() {
  byte val1,val2,val3;
  val1 = nitrogen();
  delay(250);
  val2 = phosphorous();
  delay(250);
  val3 = potassium();
  delay(250);
```

```
  Serial.print("Nitrogen: ");
  Serial.print(val1);
  Serial.println(" mg/kg");
  Serial.print("Phosphorous: ");
  Serial.print(val2);
  Serial.println(" mg/kg");
  Serial.print("Potassium: ");
  Serial.print(val3);
  Serial.println(" mg/kg");
  delay(2000);
```

```
  display.clearDisplay();
```

```
  display.setTextSize(2);
  display.setCursor(0, 5);
  display.print("N: ");
  display.print(val1);
  display.setTextSize(1);
```

```

display.print(" mg/kg");

display.setTextSize(2);
display.setCursor(0, 25);
display.print("P: ");
display.print(val2);
display.setTextSize(1);
display.print(" mg/kg");

display.setTextSize(2);
display.setCursor(0, 45);
display.print("K: ");
display.print(val3);
display.setTextSize(1);
display.print(" mg/kg");

display.display();
}

byte nitrogen(){
  digitalWrite(DE,HIGH);
  digitalWrite(RE,HIGH);
  delay(10);
  if(Serial1.write(nitro,sizeof(nitro))==8){
    Serial1.flush();
    digitalWrite(DE,LOW);
    digitalWrite(RE,LOW);
    for(byte i=0;i<7;i++){
      //Serial.print(Serial1.read(),HEX);
      values[i] = Serial1.read();
      Serial.print(values[i],HEX);
    }
    Serial.println();
  }
  return values[4];
}

byte phosphorous(){
  digitalWrite(DE,HIGH);
  digitalWrite(RE,HIGH);
  delay(10);
  if(Serial1.write(phos,sizeof(phos))==8){

```

```

Serial1.flush();
digitalWrite(DE,LOW);
digitalWrite(RE,LOW);
for(byte i=0;i<7;i++){
//Serial.print(Serial1.read(),HEX);
values[i] = Serial1.read();
Serial.print(values[i],HEX);
}
Serial.println();
}
return values[4];
}

byte potassium(){
digitalWrite(DE,HIGH);
digitalWrite(RE,HIGH);
delay(10);
if(Serial1.write(pota,sizeof(pota))==8){
Serial1.flush();
digitalWrite(DE,LOW);
digitalWrite(RE,LOW);
for(byte i=0;i<7;i++){
//Serial.print(Serial1.read(),HEX);
values[i] = Serial1.read();
Serial.print(values[i],HEX);
}
Serial.println();
}
return values[4];
}

```

## 8.10. Costo total del Desarrollo del proyecto

Chasis	\$2800.00
Motores	\$2650.00
Sensores	\$2240.00
Módulos y controlador	\$400.00
Impresiones 3D	\$350.00
Tarjetas de desarrollo	\$1550.00
Indirectos	\$3000.00
Total	\$12990.00