



**Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas,
Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado.
Maestría en Tecnología de la Información**

***Maestrando
Lic. Fausto Fabián Garcete***

Sistema embebido para la calibración de humedad del suelo utilizado en la experimentación del Instituto de Materiales de Misiones

**Trabajo final de Maestría presentada para obtener el título de
“Magíster en Tecnología de la Información”**

“Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto,
queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899”.

**Director
Dr. Marcelo Julio Marinelli
Co-Director
Dr. Eduardo Zamudio**

Año 2022



Esta obra está licenciado bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Universidad Nacional de Misiones
Facultad de Ciencias Exactas
Químicas y Naturales



TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

SISTEMA EMBEBIDO PARA LA CALIBRACIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO UTILIZADO EN LA EXPERIMENTACIÓN DEL INSTITUTO DE MATERIALES DE MISIONES

Autor

Lic. Fausto Fabián Garcete

Director

Dr. Marcelo Julio Marinelli

Codirector

Dr. Eduardo Zamudio

2022

RESUMEN

Investigadores del Instituto de Materiales de Misiones trabajan sobre características de humedad en suelo, analizan las propiedades y características de este, desde el programa de materiales, modelización y metrología(PMMM), donde la problemática constante es disponer de dispositivos complejos para la obtención en valores de humedad.

Por tal motivo el presente trabajo tiene como objetivo lograr un dispositivo de medición de humedad en diferentes perfiles de suelo, para trabajos de investigación. que se realizan en el Instituto.

Las técnicas de medir la humedad en suelo son herramientas importantes para el estudio, contaminación y/o infiltración del mismo, por tal razón en el presente trabajo se centró en una propuesta basada en la arquitectura de sistemas embebidos (Arduino) en combinación con tecnologías de comunicación, donde en el proceso de desarrollo se evaluó un modelo propuesto

A partir de lo expuesto se experimentó con un caso de uso, donde se logró validar el dispositivo propuesto dentro de un entorno controlable.

El presente trabajo tiene como resultado facilitar a los investigadores del PMMM de una herramienta propia, de desarrollo interno el cual puede utilizarse en diferentes espacios

El proceso de medir la humedad de suelo en variados perfiles, por medio de distintas técnicas de medición, conduce a implementaciones tecnológicas, unas de ellas, utilizando sistemas embebidos descritas en el presente trabajo de investigación.

Al momento de realizar estudios de humedad en suelo, sienta sus bases en parámetros a considerar como el tiempo, la cantidad de agua a ser aplicada y el flujo de dicho líquido. Existen herramientas, técnicas y tecnologías que brindan soluciones a los parámetros considerados

Palabras claves: Sistemas embebidos, Arduino, Sensor de Humedad YL-69, Circuito de control YL-38, Sistema Operativo Embebido, Perfiles de Suelo, Humedad en Suelo, Calibración de Sensor.

ABSTRACT

Reseachers from the Instituto de Materiales de Misiones work on the characteristics of soil moisture. The Materials, Modeling and Metrology Program (PMMM), which is in constant need of complex devices to obtain humidity values, is in charge of analyzing soil properties and characteristics.

For this reason, the present investigation aims at designing a device to measure soil moisture in different soil profiles to be used in research studies carried out at the Institute.

Soil moisture measurement techniques are essential tools in the study of soil contamination and/or infiltration. That is why this research focused on a device based on the architecture of embedded systems (Arduino) combined with communication technologies, where, in the development process, a suggested model was tested.

Based on this, a use case was experimented with, making it possible to validate the designed device within a controllable environment.

As a result, PMMM researchers may now have their own internally developed tool to be used in different soil conditions.

The process of measuring soil moisture in various profiles through different measurement techniques leads to technological implementations, one of those using the embedded systems described in this research.

When carrying out soil moisture studies, foundations are laid in certain parameters to be considered such as time, the amount of water to be applied and the flow of such liquid. There are tools, techniques and technologies that provide solutions to the parameters considered.

RECONOCIMIENTOS

A Dios por brindarme la salud física, mental y espiritual para el logro de los objetivos del presente trabajo de investigación.

A los Dres Marcelo Marinelli y Eduardo Zamudio, por estar siempre dispuestos a brindar atención en la dirección y puesta en marcha del presente trabajo de investigación muy significativo para mi carrera profesional.

Al Dr Mario Rosenberger, director del Programa Materiales, Modelización y Metrología del Instituto de Materiales de Misiones por haber brindado su tiempo y conocimiento sobre diferentes perfiles de suelo húmedo, estando en constante observación en el desarrollo del trabajo, lo cual permitió avanzar a término.

Al Dr Fernando Felissia quien con su apoyo, brindó el acceso y uso de los diferentes instrumentos de laboratorio, necesarios para la realización de varios experimentos con los sensores de humedad, para poder aplicar la metodología de calibración de sensores propuesta en el presente trabajo.

A la directora del Instituto de Materiales de Misiones Dra. Maria Cristina Area que ha mostrado interés, disponiendo a mi alcance los recursos necesario (tiempo, mobiliario, equipamiento) para la realización de informes e investigaciones .

A mis compañeros de trabajo Dr Nicalás Clauser, Dra. Laura Covinich y el Ing. Matías Iurinic, quienes con sus conocimientos me han guiado en el uso de técnicas indispensables para el armado y formulación de planteamientos específicos, implementación y manejo en el campo de la electrónica, referidos a la configuración y puesta en funcionamiento del dispositivo logrado.

Al Dr. Horacio Daniel Kuna de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) junto con sus pares de la Universidad Nacional de Nordeste (UNNE) por sus innumerables gestiones que hicieron posible el cursada del posgrado, “Maestría en Tecnológicas de la Información”.

A mis familiares allegados quienes me han brindado todo su apoyo emocional como técnico desde sus campos disciplinares haciendo observaciones de forma.

Índice de Contenido

CAPÍTULO 1	Introducción.....	15
1.1	Planteamiento del problema.....	16
1.2	Justificación del presente trabajo.....	18
1.3	Objetivo.....	19
1.4	Alcances del trabajo.....	19
CAPÍTULO 2	Estado del arte.....	21
2.1	Introducción.....	22
2.1.1	Sistemas embebidos: definición.....	22
2.1.2	Propiedades de los sistemas embebidos.....	24
2.1.2.1	A) Características básicas.....	24
2.1.2.2	B) Interface.....	25
2.1.2.3	C) Estructura.....	25
2.1.2.4	D) <i>Firmware</i>	26
2.2	Aplicaciones de los sistemas embebidos en la investigación.....	26
2.2.1	Vías posibles de comunicación.....	27
2.2.1.1	A) Puertos digitales.....	27
2.2.1.2	B) USB.....	27
2.2.1.3	C) GPS.....	28
2.2.1.4	D) Puertos analógicos.....	29
2.2.1.5	E) GPRS.....	29
2.2.1.6	F) PCMCIA.....	31
2.2.1.7	G) Bluetooth.....	32
2.2.2	Aplicaciones comúnmente desarrolladas con sistemas embebidos.....	33
2.3	Avances y principales referencias de los sistemas embebidos.....	33
2.3.1	Áreas de aplicaciones y principales tecnologías.....	35
2.3.1.1	Diseño de arquitectura y referencia.....	35
2.3.1.2	Conectividad y capa intermedia.....	36

2.3.1.3 Métodos, herramientas y procesos para el diseño de sistemas.....	37
2.3.2 Plataformas de desarrollo para sistemas embebidos.....	37
2.3.2.1 Placa LPCXpresso.....	39
2.3.2.2 Microcontrolador AduC.....	41
2.3.2.3 Plataforma Arduino uno.....	41
2.3.2.4 Micro2440SDK.....	41
2.3.2.5 SoC DE10-Nano.....	42
2.3.3 Implementaciones de sistemas embebidos.....	43
2.3.4 Sistemas operativos embebidos.....	45
2.4 Tecnologías para el desarrollo web.....	47
2.4.1 Uso de Hojas de Estilo.....	48
2.4.2 Uso del lenguaje HTML.....	50
2.4.3 Uso del Lenguaje de programación PHP.....	50
CAPÍTULO 3 <i>Materiales y métodos</i>	53
3.1 Introducción.....	54
3.2 Técnicas de medición de humedad en suelo.....	54
3.2.1 Escalas y métodos de medición de humedad en suelo.....	55
3.2.2 Otras tecnologías para medición de humedad en suelo.....	58
3.3 Herramientas de comunicación en proyectos de control de humedad.....	58
3.3.1 Arduino uno.....	59
3.3.2 Arduino Shield.....	60
3.3.2.1 Detalles técnicos de la placa.....	60
3.3.2.2 Otros detalles técnicos de la placa.....	61
3.3.2.3 Requisitos para su funcionamiento.....	61
3.3.3 Sistema automático de riego basado en sistemas embebidos de bajo costo.....	62
3.3.4 Sistema de riego automatizado con Arduino.....	64
3.4 Lenguajes de programación y entornos de desarrollo para la implementación del presente proyecto.....	65
3.4.1 Lenguaje de programación para Arduino.....	66
3.4.2 Lenguaje de programación PHP.....	67
3.4.3 Entorno Integrado de Desarrollo PHPStorm.....	69

3.4.4 Hojas de estilo en cascada.....	70
3.4.5 Lenguaje de Marcado HTML5.....	72
CAPÍTULO 4 Dispositivo de medición de humedad en suelo.....	75
4.1 Introducción.....	76
4.2 Materiales de Soporte.....	76
4.2.1 Sensor de Humedad YL-69 + YL-38.....	78
4.2.2 Placa Arduino uno.....	80
4.2.2.1 Descripción de los componentes de la Placa Arduino Uno.....	82
4.2.2.2 Pines digitales de entrada y salida.....	82
4.2.2.3 Conector USB.....	83
4.2.2.4 Botón Reset.....	83
4.2.2.5 ICSP (In Circuit Serial Programming).....	83
4.2.2.6 Micro-controlador ATmega328.....	84
4.2.2.7 Fuente de Alimentación Externa.....	85
4.2.2.8 Pin de Reset.....	85
4.2.2.9 Pin de 3.3V.....	85
4.2.2.10 Pin de 5 V.....	86
4.2.2.11 Pines analógicos.....	86
4.2.3 Placa Módulo Ethernet Shield de Arduino Uno.....	86
4.2.3.1 Componentes y características elementales del Módulo Ethernet Shield.....	87
4.2.4 Enrutador TP-Link TL-WR841N.....	89
4.2.5 Placa Circuito de Pruebas Protoboard Arduino de 830 puntos.....	89
4.2.6 Cables dupont para protoboard Macho Macho.....	90
4.2.7 Sensor de temperatura y humedad ambiente DT11.....	91
4.3 Montaje inicial del dispositivo para pruebas sobre el protoboard.....	92
4.3.1 Ensamblado del Arduino Uno con el modulo Ethernet Shield.....	93
4.3.2 Ensamblado de todos los periféricos.....	94
4.3.2.1 Conexión de los periféricos entre sus partes.....	96
4.4 Software, Tecnologías y Métodos.....	98
4.4.1 Arquitectura software de la solución.....	98
4.4.2 Programación en el Arduino Uno.....	99

4.4.2.1 Lenguaje de programación utilizado en el IDE Arduino.....	101
4.4.3 Captura de los datos sensados.....	102
4.4.4 Licencia de productos software.....	104
CAPÍTULO 5 Resultados y discusión.....	105
5.1 Introducción.....	106
5.2 Parte I Proceso de calibración de los sensores.....	106
5.2.1 Calibración de sensores de humedad en perfil de arena.....	109
5.2.2 Calibración de sensores de humedad en perfil de tierra.....	112
5.3 Parte II Proceso de re-calibración de los sensores.....	116
5.3.1 Sensores de la misma partida.....	117
5.3.2 Referencia inicial de los sensores de la misma partida.....	118
5.3.3 Calibración en forma conjunta arena y tierra.....	119
5.3.3.1 Calibración del sensor 1.....	119
5.3.3.2 Calibración del sensor 2.....	120
5.3.3.3 Calibración del sensor 3.....	122
5.3.3.4 Calibración del sensor 4.....	124
5.4 Parte III Experiencia de uso del dispositivo en laboratorio.....	125
5.4.1 Medición con valores sin variaciones.....	127
5.4.2 Medición con valores aplicando variaciones con derrame de agua.....	128
CAPÍTULO 6 Conclusiones.....	133
6.1 Conclusiones.....	134
6.2 Trabajos futuros.....	136
Bibliografía.....	137

Índice de figuras

Figura:1. Representación esquemática de las zonas del suelo.....	16
Figura 2: Ejemplo de un sistema Embebido.....	24
Figura 3: Pines digitales de Entrada Salida.....	27
Figura:4.Puerto serial RS232 RS485 GSM, Módem con GPRS.....	30
Figura 5 PCMCIA Cards.....	32

Figura 6: Selección de FPGA en la última década.....	39
Figura 7: Placa de desarrollo Micro 2440.....	40
Figura 8: SoC DE10-Nano.....	43
Figura 9: Sistemas operativos embebidos.....	46
Figura 10: Datos vistos en un navegador web provenientes de los sensores.....	48
Figura 11: Uso de las hojas de estilo.....	49
Figura 12: Elección del Fondo, por medio de la utilización de hojas de estilo.....	50
Figura 13: Gráfico de eficiencias estimadas para veriodos promedios y <i>períodos</i> de uso máximo de agua.....	55
Figura 14: Sonda de neutrones.....	57
Figura 15: Sondas TDR.....	58
Figura 16: Entorno de desarrollo integrado de Arduino.....	60
Figura 17: Sensores de Corrientes conectado al microcontrolador.....	63
Figura 18: Conexión de los sensores con la placa Arduino.....	65
Figura 19: IDE Arduino.....	67
Figura 20: Código Fuente PHP.....	69
Figura 21: Entorno Integrado de desarrollo PHPstorm.....	70
Figura 22: Aplicación de Hojas de Estilo a proyecto de investigación.....	72
Figura 23: Lenguaje de Marcado HTML5.....	73
Figura 24: Tubo de ensayo con arena, sensor de Humedad con agua.....	77
Figura 25: Tubos de ensayo con sensores en diferentes perfiles.....	77
Figura 26: Gráfico Variación de la humedad de suelo en el tiempo.....	78
Figura 27: Sensor de Humedad YL-69 y Circuito de control YL-38.....	79
Figura 28: Detalles de la placa Arduino.....	81
Figura 29: Conector USB tipo B hembra.....	83
Figura 30: ICSP Programación Serial en Circuito.....	84
Figura 31: Microprocesador ATmega328.....	85
Figura 32: Placa Módulo Ethernet shield.....	87
Figura 33: Parámetros de Configuración.....	87
Figura 34: Componentes del módulo Ethernet Shield.....	88
Figura 35: Enrutador TP-Link TL-WR41N.....	89

Figura 36: Placa Circuito de Pruebas Protoboard Arduino.....	90
Figura 37: Cables dupont para protoboard Macho Macho.....	91
Figura 38: Sensor de temperatura y humedad ambiente DT11.....	92
Figura 39: Conexión Ethernet Shield al Arduino Uno.....	94
Figura 40: Diagrama de Bloques.....	95
Figura 41: Circuito Esquemático.....	96
Figura 42: Conexión de 5V y GND.....	97
Figura 43: Conexión del componente YL-38.....	98
Figura 44: Entorno Integrado de Desarrollo para Arduino.....	101
Figura 45: Funciones Loop y Setup.....	102
Figura 46: Datos vistos en un navegador web provenientes de los sensores.....	103
Figura 47: Gráfico de las señales de los sensores en el tiempo.....	104
Figura 48: Conjunto completo de dispositivos tecnológicos y materiales utilizados.....	106
Figura 49: Sensores en agua de red y agua destilada.....	108
Figura 50: Sensores con sus marcadores numéricos.....	109
Figura 51: Balanza de Precisión.....	110
Figura 52: Eliminación de la humedad en la arena por medio del secado al horno.....	111
Figura 53: Caja estanco y <i>recipientes</i> con sus respectivos sensores.....	115
Figura 54: Recambio de sensores.....	116
Figura 55: Recipientes más compactos para el ensayo.....	116
Figura 56: Precisión del agua a ser utilizada.....	117
Figura 57: Cambio de sensores YL69.....	118
Figura 58: Gráfico de puntos con interpolación Logarítmica para el perfil de suelo arena.....	120
Figura 59: Gráfico de puntos con Interpolación Logarítmica para el perfil de suelo tierra.....	120
Figura 60: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo arena.....	121
Figura 61: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo arena.....	122
Figura 62: Gráfico de puntos con interpolación Polinómica para el perfil de suelo arena.....	123
Figura 63: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo Tierra.....	123
Figura 64: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo Arena.....	125
Figura 65: Gráfico de puntos con interpolación lineal para el perfil de suelo Arena.....	125
Figura 66: Aplicación web con Indicadores de los sensores en tiempo real.....	126

Figura 67: Disposición de sensores.....	126
Figura 68: Aplicación web con Indicadores de los sensores en tiempo real y sus parámetros.....	127
Figura 69: Perfil de suelo ARENA con sensores sin agua, con caja estanco.....	127
Figura 70: Resultados de la la PRUEBA 1, primer ensayo del dispositivo de lectura de humedad del suelo.....	128
Figura 71: Transporte de agua en perfil del suelo ARENA.....	129
Figura 72: Resultado de los valores obtenidos en los sensores.....	129
Figura 73: Resultado de los valores obtenidos en los sensores.....	130

Índice de tablas

Tabla 2.1: Trabajos presentados en SASE 2019. Adaptado de [30].....	44
Tabla 4.1: Especificaciones técnicas del Sensor.....	80
Tabla 4.2: Especificaciones Técnicas del Arduino Uno.....	81
Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del Enrutador.....	89
Tabla 4.4: Especificaciones técnicas del Sensor DTH11.....	92
Tabla 4.5: Materiales y dispositivos necesarios.....	93
Tabla 4.6: Software utilizado.....	99
Tabla 5.1: Medición con los sensores en agua destilada y agua de red domiciliaria.....	107
Tabla 5.2: Método gravimétrico para determinar la humedad (arena) punto 1.....	111
Tabla 5.3: Método gravimétrico para determinar la humedad (tierra punto 1).....	112
Tabla 5.4: Método gravimétrico para determinar la humedad (tierra punto 2).....	113
Tabla 5.5: Método gravimétrico para determinar la humedad (tierra punto 3).....	114
Tabla 5.6: Medición con los sensores en agua destilada y agua de red domiciliaria.....	118
Tabla 5.7: Calibración del sensor Nro 1 en arena y tierra.....	119
Tabla 5.8: Calibración del sensor Nro 2 en arena y tierra.....	121
Tabla 5.9: Calibración del sensor Nro 3 en arena y tierra.....	122
Tabla 5.10: Calibración del sensor Nro 4 en arena y tierra.....	124

Abreviaturas

Siglas	Significado
ADuC841	Microcontrolador analógico de precisión: 20MIPS 8052 Flash MCU + ADC de 8 canales y 12 bits + DAC dual de 12 bits
ARM	Inicialmente ,Advanced RISC Machine, fue un diseño RISC (computador con Conjunto Reducido de Instrucciones = Reduced Instruction Set Computer)
ATmega328	Circuito integrado de alto rendimiento que está basado en un microcontrolador RISC,
AVR	Regulador automático de tensión. Por sus siglas en inglés significan “Automatic Voltage Regulator”
Bluetooth	Es una especificación de la (WPAN) para conexiones de área personal inalámbricas diseñador por Bluetooth Special Interest Group, Inc.....
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
DTH11	Sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso.
EDS	Incorpora el ARM Development Studio (DS-5) para corrección de programas utilizando el puerto Ethernet.
FPGA	Se usa para verificar nuevas funcionalidades a nivel de hardware antes de su implantación en un procesador. Quiere decir que la funcionalidad es escrita en un lenguaje de descripción del hardware como puede ser Verilog o VHDL y el FPGA se configura para trabajar como ese hardware en concreto
GPRS	La tecnología (General Packet Radio Service.) viene del GSM (Global System for Mobile) y pertenece a la generación 2.5, la cual es la segunda generación en comunicaciones móviles
GPS	GPS (Global Positioning System).
GSM	(Global System for Mobile) y pertenece a la generación 2.5, la cual es la segunda generación en comunicaciones móviles
HMI	Humano- Interface máquina
I2c	Puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales.
ICSP	por las siglas del inglés : “In-Circuit Serial Programming”, programación serial en circuito, capacidad que posee ciertos micro controladores, para ser programados al estar implementados en un sistema completo.
IDE	entorno de desarrollo integrado (IDE) es un sistema de software para el diseño de aplicaciones que combina herramientas comunes para desarrolladores en una sola interfaz de usuario gráfica
IEEE802	Institute of Electrical and Electronics Engineers (más conocido por sus siglas, IEEE). Se identifica también con las siglas LMSC (LAN/MAN Standards Committee). Su misión se centra en desarrollar estándares de redes de área local (LAN) y redes de área metropolitana (MAN), principalmente en las dos capas inferiores del modelo OSI
IMAM	Instituto de Materiales de Misiones
IoT	describe la red de objetos físicos ("cosas") que llevan incorporados sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar

	datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet
ISA	En informática, Industry Standard Architecture o ISA (en español: Arquitectura Industrial Estándar), es una arquitectura de bus creada en 1980 por IBM
JTAG/SWD	Interfaz que permite programar y buscar y corregir microcontroladores basados en núcleos ARM Cortex-M0 y ARM Cortex-M3, pudiendo ser integrado dentro de entornos de desarrollo como Keil RealView MDK, IAR y CoIDE (soporte nativo de CoCoX).
kbps	kilobits por segundo
LCD	Sigla del inglés Liquid Cristal Display, 'representación visual por cristal líquido', sistema que utilizan determinadas pantallas electrónicas para mostrar información visual.
Many-Core	procesadores dedicados de varios núcleos programados para un alto desempeño en paralelo, que soportan varios núcleos de procesadores.
Mesh	Son conectividades con infraestructura de acople a la red entre dispositivos donde pese a estar fuera de un área de cobertura pueden estar dentro del espectro de un nodo móvil en modo de topología ad-hoc
MHz	Megahercio es una unidad de medida de frecuencia e indica la velocidad de funcionamiento de un chip, en el ámbito de la informática.
NMEA	National Marine Electronics Association. Es una asociación fundada en 1957 por un grupo de fabricantes de electrónica para obtener un sistema común de comunicación entre las diferentes marcas de electrónica
NXP	(de Next eXPerience) Semiconductors es una empresa fabricante de semiconductores que se creó el 31 de agosto de 2006 a partir de la división de semiconductores de la empresa neerlandesa Philips.
OEM's	Original Equipment Manufacturer (Fabricante de equipos originales) y hace referencia a las empresas como TSMC que se dedican a fabricar los productos para otras empresas
OTG	(On-The-Go). Un estándar que da la posibilidad de tener un USB controlador y clientes.
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association, entidad que nuclea alrededor de 600 corporaciones, logrando un estándar para las tarjetas de ordenadores personales con un formato diminuto.
PIC18F4550	Circuito integrado programable. Tiene la capacidad de hacer y monitorear actividades en infinitas iteraciones debido a su memoria flash de óptima resistencia.
Proteus	aplicación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas
PVC	sigla inglesa derivada de 'Polyvinyl chloride' que traducido al español su significado es Policloruro de Vinilo o material plástico PVC
PWM	son las siglas de <i>Pulse Width Modulation</i> (Modulación por ancho de pulso). Para transmitir una señal, ya sea analógica o digital
RISC	Por sus siglas en inglés <i>Reduced instruction set computing</i>
RS232	El RS232C DE-9, a menudo erróneamente llamado puerto DB-9 solía ser el estándar de la industria para la transmisión de datos serie. Fue una característica estándar de los ordenadores personales ya que era la forma preferida de conectar

los módems, teclados, ratones, almacenamiento externo y muchos otros dispositivos periféricos

RS485	estándar de comunicaciones muy utilizado en aplicaciones de adquisición y control de datos
RTOS	Sistema operativo en tiempo real (RTOS por sus siglas en inglés real-time operating system) es un sistema operativo que está optimizado para su uso en aplicaciones incrustadas o embebidas en tiempo real. Su principal objetivo es asegurar una respuesta oportuna y determinista a los eventos.
SASE	Simposio Argentino de Sistemas Embebidos
SD-Card	son las siglas de Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso). Para transmitir una señal, ya sea analógica o digital
SOC	Implementación con el advenimiento de la microelectrónica de integrados System o chip
SPI	El Bus SPI (del inglés Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos
SPI	son las siglas por las que se conoce el Serial Peripheral Interface (en español, Interfaz de Comunicación Serie). Este protocolo de comunicación es utilizado para comunicar varios circuitos integrados entre sí
Studio (DS-5)	Herramientas de compilación ARM
TDR	Reflectometría en el dominio del tiempo
TTY	Con los años, el significado del término "Puerto TTY" ha evolucionado dado que describe una conexión física de una computadora para lograr una conexión virtual. En el camino, el término ha referido siempre a la comunicación entre un ordenador y un usuario remoto.
UART	sigla en inglés de Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, en español: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
UART.	UART (universal asynchronous receiver / transmitter, por sus siglas en inglés), define un protocolo o un conjunto de normas para el intercambio de datos en serie entre dos dispositivos
UDP	User datagram protocol, es un protocolo sin conexión de la familia de protocolos de Internet que funciona en la capa de transporte
UNaM	Universidad Nacional de Misiones
UPT	Unshielded twisted pair (UTP) o cable de par trenzado no apantallado o no blindado
W3C	(World Wide Web Consortium) es un comité que se dedica a implementar tecnologías uniformes en el uso y desarrollo de Internet.
W5100	W5100 es una placa integrada para el Arduino UNO o Leonardo, que te permitirá conectar tu aplicación con una red ethernet
Wiznet	Circuitos integrados de Ethernet
YL-38	Integra el comparador LM393 permite obtener lecturas muy precisas sobre las variaciones de la humedad.
YL-69	sensor de humedad del suelo o el higrómetro se usa generalmente para detectar la humedad del suelo

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Planteamiento del problema

El transporte del agua en suelo no saturado es un tema que interesa a investigadores de las ciencias agrarias, por mencionar una de las tantas disciplinas que se enfocan en su estudio, y que es el objeto principal del presente trabajo de investigación. Desde el campo disciplinar tecnológico se recurre al uso de herramientas y disciplinas diversas que contribuyen al análisis del comportamiento del agua en suelo no saturado, aportando soluciones a cultivos en superficies y climas adversos, tendientes a mejorar la calidad de vida en el planeta. Un ejemplo de esto son los sistemas automáticos de riegos para suelos porosos.

Como refiere J. L. Martinez [2], el suelo es el medio poroso donde existe presencia simultánea de una matriz sólida y espacios vacíos (poros). Estos últimos están ocupados por uno o más flujos y pueden ser divididos en dos grandes zonas. (Ver Figura 1)

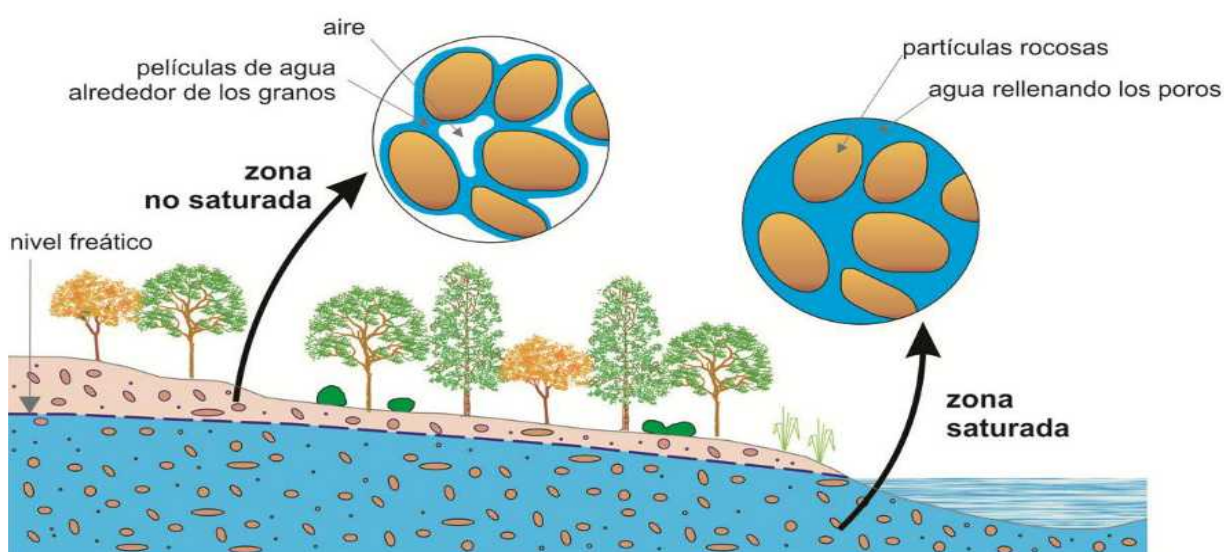


Figura:1. Representación esquemática de las zonas del suelo

Fuente: <https://medioambientedecalidad.wordpress.com/2013/02/07/suelo-y-subsuelo/>

El agua se disuelve en suelo en sentido vertical y horizontal. Si el suelo se encuentra saturado, el movimiento del líquido es horizontal, y si el suelo no está saturado, el movimiento es vertical [2]. La práctica habitual de realizar mediciones de humedad en suelo está dada por sofisticados dispositivos de medición, tal como el utilizado en el estudio realizado por Pablo Weinzettel, Marcelo Varni y Sebastián Dietrich donde evalúan tres dispositivos de tomografía eléctrica para la

identificación de horizontes petrocálcicos en el suelo, basado en la técnica de medición de humedad en suelo, que constituye una importante herramienta en la caracterización del mismo y de los procesos de infiltración y/o contaminación.

Todo esto conlleva al constante desarrollo de nuevas tecnologías de medición, mejorando la calidad de dispositivos para la obtención de los datos, como [3], se observa en [3] el estudio, medición e implementación deriva en un proceso complejo y de alto costo económico, por ejemplo, ARDUPRO 1.0,[4] dispositivo electrónico para el estudio de la humedad del suelo y su relación con parámetros ambientales (como temperatura ambiental, temperatura al sol, humedad relativa e intensidad de la lluvia) mediante diferentes sensores. Este dispositivo, en su versión 1.0, ha sido desarrollado mediante el uso de la plataforma Arduino (open-hardware) y el entorno de programación en lenguaje C [4]

Cabe mencionar también otro proyecto de implementación de sistema de monitoreo de parámetros ambientales y del suelo desde dispositivos fijos y móviles usando la tecnología zigbee¹ para el uso eficiente del recurso hídrico en la agricultura, el cual trata el monitoreo de parámetros de temperatura, humedad ambiental y humedad del suelo desde un ordenador con Labview y móviles inteligentes (smartphone) para el uso eficiente del recurso hídrico en la agricultura[5].

En razón de lo expuesto, desde el Programa de Materiales, Modernización y Metrología que funciona dentro del IMAM(Instituto de Materiales de Misiones) , se consideró diseñar y desarrollar un mecanismo técnico que permita la normalización, calibración y precisión de humedad en diferentes perfiles de suelo con tubos de ensayo, utilizando sistemas embebidos para medición de humedad en suelo a través del desarrollo de un dispositivo con software específico.

El IMAM es un instituto de doble dependencia de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Cuenta con instalaciones en Posadas, Oberá y Eldorado, provincia de Misiones y tiene como objetivo promover el desarrollo en áreas relacionadas con la ciencia y tecnología de materiales; generar y optimizar procesos para obtener nuevos materiales y mejorar las propiedades de los existentes, y generar conocimiento científico y tecnológico para extender la aplicación de materiales a nuevos usos. Su

¹Zigbee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4

finalidad es proporcionar respuestas adecuadas a las demandas de los diferentes sectores sociales y económicos [3].

1.2 Justificación del presente trabajo

Los sistemas embebidos mejoran las funcionalidades mecánicas de muchos procesos que requieren de cierta inteligencia; un ejemplo de estos procesos lo encontramos en las funcionalidades de un horno microondas, cuando activamos una función de este que da respuesta al usuario sobre una determinada acción necesaria, por ejemplo calentar un alimento. No obstante, se tiende a confundirlos con computadoras convencionales. Los sistemas embebidos dan ciertas funcionalidades inteligentes a cientos de dispositivos electrónicos por medio de microcontroladores programables, que a pesar de no ser comúnmente mencionados, están insertos en cientos de dispositivos electrónicos. Es difícil encontrar dispositivos que no estén basados en sistemas embebidos, ya que de forma corriente se encuentran en elementos tan cotidianos como automóviles, teléfonos móviles, electrodomésticos, etc. como refiere [7], usar sistemas embebidos se ha vuelto cotidiano, desde fabricas automatizada a las viviendas particulares, no obstante el funcionamiento de estos es predeterminado por la utilidad para la que son diseñados, donde resulta necesario tener un sistema operativo del que dependen. El desarrollar sistemas operativos para sistemas embebidos afronta nuevos desafíos con el auge de diversas plataformas de hardware con mas exigencias

Los Sistemas Embebidos se utilizan en:

- (1) Electrodomésticos
- (2) Juguetes
- (3) Instrumentación
- (4) Automatización
- (5) Robótica
- (6) Vehículos
- (7) Comunicaciones
- (8) Sector Aeroespacial

En cuanto a la aplicación de sistemas embebidos en áreas de la Investigación, existen desarrollos de probada eficacia para la aplicación de diversos requerimientos, sin embargo, al momento de realizar aplicaciones específicas que cumplan con una gran demanda, solamente se logran con la contratación de empresas dedicadas al tema, lo que conlleva un alto costo de

implementación.

Lo que convirtió en un desafío viable el desarrollo de un mecanismo técnico que permita la normalización, calibración y precisión de humedad en diferentes perfiles de suelo con tubos de ensayo, utilizando sistema embebido para medición de humedad en suelo a través del desarrollo de un software específico.

1.3 Objetivo

El presente trabajo propone, en primer lugar, desarrollar un mecanismo que permita normar, calibrar y medir la precisión de humedad en diferentes perfiles de suelo con la prestación de sistemas embebidos a través del desarrollo de un software experimental. De este modo, se pretende brindar una solución a investigadores del IMAM respecto de mediciones automáticas en laboratorios y trabajos de campo.

1.4 Alcances del trabajo

El dispositivo construido apunta a facilitar la labor de los investigadores del IMAM, más precisamente en el PMMM (Programa de Materiales, Modelado y Meteorología), contribuyendo a una optimización del uso del tiempo en la etapa de relevamiento de datos y producción de artículos científicos. Como se describe más adelante, el usuario del dispositivo podrá disponer de un recurso informático que le permitirá, con facilidad, rapidez y sin necesidad de presupuestar en su trabajo de investigación, la adquisición de equipamiento complejo específico destinado a determinadas mediciones estándares de humedad, llevadas a cabo simultáneamente en diferentes alturas de suelo con probetas de laboratorio. A la vez, el usuario también cuenta con un producto para medición de fases experimentales en diferentes tipos de suelo, que le permitirá evaluar los resultados logrados de las diferentes mediciones y obtener curvas de calibración en el producto desarrollado según el tipo de suelo.

CAPÍTULO 2

Estado del arte

2.1 **Introducción**

El uso de sistemas embebidos en la actualidad se presenta en un sinnúmero de dispositivos tecnológicos tendientes a satisfacer necesidades que van desde el control de un horno microondas a satélites.

Programas de ordenadores son encontrados y prestan funcionalidad en cualquier lugar imaginable (industrias, hogares, universidades, institutos, comercios, etc). Cantidades incalculables de software de computación son vendidos y producidos año tras año, como ser ordenadores de escritorios, *notebooks*, *netbooks*, *tablets*. No obstante, existen billones de sistemas de propósito particular, estos son los sistemas embebidos que se encuentran a nuestro alrededor, en cientos de formas diferentes a saber:

- Hornos microondas
- *Smart TV*
- *Smart Phone*
- Controladores de temperatura y humedad ambiente
- Lavarropas
- Heladeras
- Controladores automáticos mecanizados de funciones especial
- Equipamientos en medicina
- Sistemas de navegación marítima y aérea
- Automóviles
- Reproductores MP3
- etc.

Basta observar alrededor para encontrar tecnología con un microprocesador, y que muy probablemente contenga un sistema embebido. Por estas razones resulta conveniente analizarlos para comprender su alcance e implementación.

2.1.1 **Sistemas Embebidos: definición**

A la hora de definir sistemas embebidos existen múltiples definiciones:

•Sistema embebido: Se considera a todo artefacto que incorpora en su interior un microcontrolador programable, donde éste no es un ordenador como se los concibe normalmente (notebook, pc, tablets, netbook) [8].

•Conjunto de mecanismos electrónicos controlados por un microprocesador, también se lo puede denominar micro controlador; no obstante, no se los considera un ordenador [9].

• Generalmente se utiliza el término sistema embebido para nombrar a todo sistema de cómputo dentro de algún producto o artefacto electrónico [10].

• “Sistema embebido es un sistema cuya función principal no es computacional, pero es controlado por un computador integrado. Este computador puede ser un micro-controlador o un microprocesador. La palabra embebido implica que se encuentra dentro del sistema general, oculto a la vista, y forma parte de un todo de mayores dimensiones”[11].

Todo “sistema embebido” está compuesto por una parte tangible junto con el programa embebido, como su componente más importante. Es un ordenador dedicado a aplicaciones específicas. Este puede ser un sistema único o parte de un sistema jerárquico, implicando esto que el programa está embebido en una memoria de solo lectura, no necesita de un dispositivo de memoria de lecto-escritura como sucede con un ordenador convencional (una PC). Su arquitectura se basa en tres partes elementales:

1. Microcontrolador (Parte tangible).

2. Programa grabado en el microcontrolador con las funciones específicas. Este programa ejecuta procesos específicos, o, en ocasiones, conjuntos de procesos.

3. El software base de un ordenador convencional (sistema operativo) tiene política de control sobre las aplicaciones y políticas para los mecanismos de ejecución de procesos. En cambio, en los sistemas embebidos precisan de características de tiempo real.

Prima destacar que los programas ejecutados en sistemas embebidos son confecciones bajo ciertas limitaciones a tener presente:

(1º) Capacidades limitadas de procesamiento, generalmente los procesadores poseen velocidades que no superan los Mhz.

(2º) El ahorro de energía, indistintamente del estado de su ejecución [12]. En la Figura 2 se muestra el esqueleto de un sistema embebido típico, donde se observa la arquitectura de hardware a alto nivel. En la figura 3 el sistema se centra en un procesador RISC (Reduced Instruction Set Computer) de 32 bits. La memoria *FLASH* es usada con el fin de guardar información (datos) y

software de manera persistente. La *Main Memory* posee varios *megabytes*, en los cuales se guardan temporales variables para la ejecución de los procesos. En el ejemplo se puede ver una interfaz Ethernet y una USB, también un chip que contiene la implementación del estándar IEEE 802.11 y un puerto serial.

(3°) Un mínimo de memoria, básicamente en el orden de los KB.

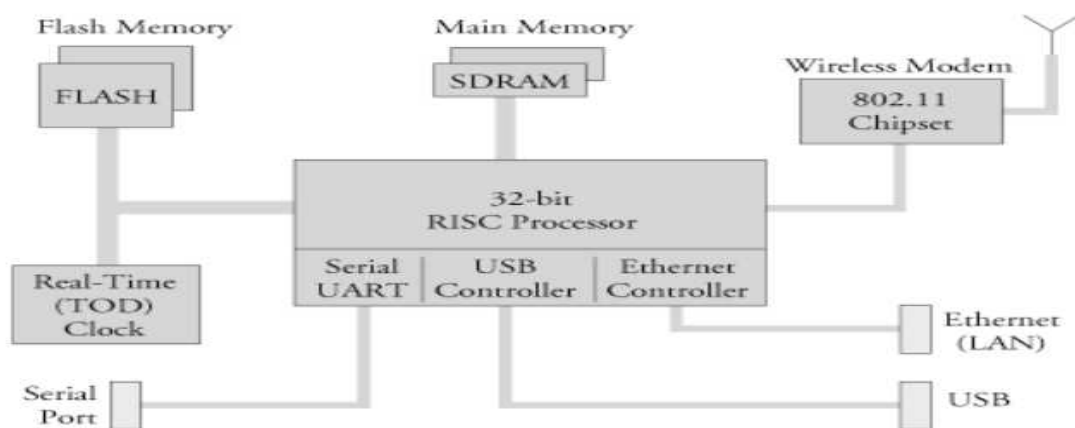


Figura 2: Ejemplo de un sistema Embebido
Fuente: <https://flylib.com/books/en/1.98.1.18/1/>

2.1.2 Propiedades de los sistemas embebidos

Siguiendo a [13], quien ha clasificado las principales características y propiedades de los sistemas empotrados, vemos los siguientes items:

2.1.2.1 A) Características básicas

- Número limitado de funciones para actuar
- Fuente de alimentación limitada y administración de energía efectiva
- Disponibilidad de recursos de reserva para situaciones inesperadas
- Velocidad de CPU lenta
- Mantenibilidad, es la probabilidad de que el sistema vuelva a trabajar correctamente en unidades de tiempo después de un fallo
- Funcionamiento en tiempo real (con mayor frecuencia)
- Deben ser confiables
- Tamaño del display pequeño

- Reaccionan a estímulos provenientes del entorno.
- Periféricos de banda ancha con sus interfaces
- Desarrollo para apoyar la implementación de arquitectura de software en el entorno

2.1.2.2 B) Interface

- Interfaces de operador (Humano- Interface máquina – HMI)
- Monitores, interruptores, botones, indicadores, emisores individuales o grupales de los diferentes tipos de señales, motores eléctricos y otros
- Interfaces eléctricas (interfaces con otros componentes y dispositivos): Interno - I2c, SPI, ISA y otros. Exteriores RS232, TTY, Ethernet y otros.

2.1.2.3 C) Estructura

Lo característico y propio en sistemas embebidos se ve en su implementación económica y ahorro energético, debido a que son desarrollados para producción en masa dónde el precio por unidad resulta crucial a tener presente en el proceso de diseño. Generalmente, usan procesadores básicos, con muy poca velocidad y capacidad de memoria muy limitada, con el objetivo de tener ganancia económica por su bajo precio. La frecuencia de trabajo incide directamente en la velocidad del reloj del procesador, y a su vez la totalidad de la arquitectura se simplifica en un producto más económico. Normalmente un SE (sistema embebido) usa hardware controlado por interfaces seriales síncronas, de menor velocidad en comparación al hardware de un ordenador convencional (pc, notebook, netbook). Un SE se caracteriza por una alta limitación de recursos, es por ello que su verdadera diferencia está dada por el uso de sistemas operativos dedicados, los conocidos como de tiempo real, RTOS (Real time operating system). Consecuentemente, generalmente se los concibe como un sistema de uso para respuestas a medida que transcurren los eventos para los cuales fueran diseñados; no obstante, los datos adquiridos y tratados podrían ya no tener relevancia. Las aplicaciones en estos sistemas se ejecutan acotando los tiempos vacíos, aparejado a limitaciones en cuanto a periféricos y al hecho que normalmente no tienen teclado, discos, o monitores sino que, usualmente, una memoria flash sustituye a los discos, también se hace uso de una pantalla LCD y unos botones reemplazan los dispositivos de interfaz. El programa que actuará frente a los estímulos externos en estos dispositivos se identifica como Firmware. La programación en estos controladores es en lenguaje C o bien en assembly.

2.1.2.4 D) *Firmware*

- El firmware es una parte lógica programable y periférica muy ligada a la electrónica; así mismo es visto como un programa al ser diseñado mediante cierto lenguaje de programación.
- Es el set de instrucciones de una aplicación o programa que está dentro del integrado del sistema empotrado y que establece el modo de funcionamiento principal que tiene el control sobre los demás circuitos que son parte del SE

2.2 **Aplicaciones de los Sistemas embebidos en la investigación**

Como expresa A. Silberschatz, [9] la misión encomendada para los años venideros es la de adquirir destreza sobre un nuevo grupo de personas para investigar y trabajar, y esto trata de lo que comúnmente conocemos como “Internet de las Cosas (IoT)”, tema relacionado a los sistemas embebidos y que puede abarcar varias áreas de electrónica e informática. Dado que el desafío es imponente, la temática es de interés para grupos empresariales como académicos, como es de esperarse, debido a su proyección, según todos los estudios referidos al área.

Se espera que para 2023 se tengan que desarrollar millones de aplicaciones para IoT sobre sistemas embebidos, sin mencionar lo referente a temáticas como Ciudades Inteligentes. En este sentido es muy factible el estudio de infraestructuras de software open source, aplicable y en constante producción en diferentes lugares del mundo.

Con base a lo antes descrito, sería menester el desarrollo y adaptación de SE para su aplicación en diferentes proyectos en ciudades del país, más allá de los diversos desarrollos de aplicaciones que puedan surgir en hogares, edificios inteligentes, salud, instituciones varias etc[16]

El advenimiento en el mercado de placas electrónicas embebidas posibilita el desarrollo de nuevos dispositivos con múltiples maneras de comunicación en un espacio acotado. Esto está trayendo aparejada una innovación en el mercado de los OEM's (Original Equipment Manufacturers), arquitectura de hardware que hace posible tener la potencia de un ordenador en la palma de la mano

Previo al desarrollo de comunicación del estándar USB (Universal Serial Bus), la comunicación entre periféricos era una tarea frustrante, en ocasiones imposible. Por un lado, estaban los dispositivos que precisaban conexiones de alta velocidad, como ser los discos rígidos, captura de video, entre otros, frente a otros dispositivos que podían funcionar a baja velocidad de transferencia como ser mouse, teclado, disqueteras, etc. Para salvar el inconveniente de la velocidad de transferencia existían las tarjetas scasi, sistema caro y complejo, no muy amigable a la hora de su configuración.

El advenimiento del estándar USB superó todas estas barreras tecnológicas de velocidad y complejidad, a tal punto que el estándar USB permite una gran flexibilidad en la manera de cargar eléctricamente a los dispositivos por el cable. El USB permite también múltiples periféricos esclavos (slaves) que a la vez puedan comunicarse de forma directa con el maestro (host). En el estándar USB se destacan las siguientes características: [18], [19]

Este tipo de puerto posibilita, en teoría, hasta 127 dispositivos. No obstante, se debe considerar su ancho de banda resultando lo anterior prácticamente imposible puesto que, generalmente, el ancho de banda tiene limitaciones, a lo que también se le deben sumar las limitaciones eléctricas.

Permite dispositivos tanto de gran velocidad, como también los de poca velocidad. Los de gran velocidad, pueden conectarse a un cable que puede tener una distancia máxima de 5 m y los de poca velocidad podrían medir hasta 3 m de longitud. A comienzos del año 1999, quienes promovieron el USB 2.0, Compaq, HP, Intel, Lucent, Microsoft, NEC y Philips, anunciaron de modo estimativo que la capacidad de transferencia de USB 2.0 sería en un intervalo de 120 - 240 Mbps, un rango mayormente considerable frente a la de USB 1.1.

Actualmente, la velocidad es de 360 a 480 Mbps, una velocidad muy superior a la de USB 1.1. Así mismo, existen ya plataformas embebidas con características que incorporan la tecnología OTG (On-The-Go). Un estándar que da la posibilidad de tener un USB controlador y clientes.

La transferencia del bus es de 3 MHz y la capacidad de transferencia de 1,5 a 12 Mbps. Posibilita esto dar compatibilidad y soporte a casi la totalidad de los dispositivos existentes.

2.2.1.3 **C) GPS**

Estos receptores son sistemas de posicionamiento global o módulos GPS (Global Positioning System). Funcionan del siguiente modo: obtienen la información de localización, tiempo de traslado, fecha y hora en mensajes codificados mediante unos estándares. El común de estos dispositivos se denomina NMEA 0183, brinda la posibilidad de ser compatibles entre otras marcas, esto quiere decir que generalmente son de tipo binario, dependiendo de quien lo fabrique [16].

2.2.1.4 **D) Puertos analógicos**

Estos son valores que van alternando según va transcurriendo el tiempo dentro de un intervalo continuo. Los datos analógicos pueden tomar infinitos valores

Los ingresos analógicos de datos hacen posible la lectura para su proceso, un ejemplo de esto sería la humedad. Esos datos son obtenidos a través de los sensores, considerados periféricos de entrada, que reciben la señal devolviendo dato de tensión, esto es convertido en información digital. Para procesar la señal analógica es necesario un dispositivo (micro-controlador) que realice la acción, con la ayuda de un programa específico para el funcionamiento del periférico[20].

2.2.1.5 **E) GPRS**



*Figura:4. Puerto serial RS232 RS485 GSM, Módem con GPRS
Fuente: <https://s.alicdn.com/@sc04/kf/H4c73d4c84fcf4913993106ef4f29deb7A.jpg>*

La tecnología (General Packet Radio Service. Ver figura 4) viene del GSM (Global System for Mobile) y pertenece a la generación 2.5, la cual es la segunda generación en comunicaciones móviles. Con GPRS es posible valerse de todos los beneficios de la transmisión de información en movilidad, optimizando la eficiencia y rápida transmisión. La máxima velocidad de conexión, en teoría, alcanza unos 115 kbps, 12 veces más que lo que posibilita la red GSM. No obstante, la media no supera los 40 Kbps de transferencia. En GPRS la recaudación va acorde al volumen de lo transferido, indistintamente del tiempo de conexión. Ejemplificando esto; el consumo que conlleva un mail: el correo electrónico de una página usa unos 4 KB, mientras que una página web llega hasta unos 200 KB, comenzando en los 50 KB.

Teniendo presente lo complejo de esto, el sumarle gráficos. Mientras que con GPRS, todo es posible como si se estuviera en el mismo lugar de trabajo. Se traduce esto en interesantes beneficios significativos de optimización, simplificación y eficiente entrega de los procesos de tareas. El principal contraste más notorio de GPRS con GSM es que GPRS acciona por conmutación de paquetes, mientras que GSM lo hace por conmutación de circuitos. La información se envía por paquete entre los programas servidor y cliente como por ejemplo el FTP. Los paquetes son enviados asincrónicamente y enrutados en base a la dirección destino por medio de nodos de la red. Es menester mencionar la utilización de técnicas que hacen confiable y factible una transmisión, como lo es la retransmisión de determinados paquetes o bien la detección y arreglos de datos incorrectos. En el receptor se juntan los paquetes y se va construyendo la información enviada desde el origen. Es por ello que, la conmutación por paquetes no guarda relación a los circuitos diseñados para cada comunicación. La gran diferencia de la conmutación es que con los paquetes se obtiene una importante transferencia, ante la atenuada conmutación por circuitos.

2.2.1.6 **F) PCMCIA**

PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association), como refiere [20] es una entidad que nuclea alrededor de 600 corporaciones, logrando un estándar para las tarjetas de ordenadores personales con un formato diminuto. En sus comienzos, su objetivo fue agregar más memoria a las computadoras portátiles, no obstante, el estándar obtuvo una inserción a múltiples modelos de hardware. (figura 5).



Figura 5 PCMCIA Cards

Fuente: <https://www.indiamart.com/subhalakshmi-computer/card.html>

Uno de los primeros logros de la asociación PCMCIA fue el desarrollo de su primer estándar en la década de 1990. En el mismo se establecen dos tipos de tarjetas con propósitos muy semejantes. Estas tarjetas tienen las mismas dimensiones, alto y largo, no así su altura, puesto que tienen una diferencia de 2 mm. La conexión de estas tarjetas es de 68 pines. Están únicamente diseñados para periféricos de almacenamiento, por lo que resultaba imposible diseñar con esta versión del estándar ningún otro dispositivo de entrada o salida, por ejemplo, una placa de audio. En lo posterior, se realizaron innovaciones menores al estándar debido a que se agregaron mejores características. Por ejemplo, el Type III, que tenía las mismas dimensiones en su profundidad y ancho al de sus antecesores. Otras de sus innovaciones fue que se contempló las operaciones de entrada/salida entre otras, como la operación en 3.3 V, el Soporte para DMA de 32 bits. Transcurrido el año 1995 estas tarjetas adquirieron un nuevo nombre conocidas como PCMCIA y desde entonces se las refiere de ese modo [17]

2.2.1.7 **G) Bluetooth**

Siguiendo a [20], es necesario integrar a las plataformas de desarrollo embebido este medio de comunicación inalámbrico para lo cual existen microcontroladores que implementan un perfil de

UART² a 921,6 Kbps para hacer más simple y sin complicaciones una conexión Bluetooth³ vía RS-232, la cual alcanza alrededor de los diez metros sin la necesidad de implementaciones cableadas.

2.2.2 Aplicaciones comúnmente desarrolladas con sistemas embebidos

Culminando en este apartado de modo muy sintético haciendo referencia a [21], los desarrollos que se pueden abarcar con dispositivos embebidos son muy vastos donde la limitante resulta desde lo imaginable; haciendo posible combinar las ciencias de las tecnologías de la información con las ciencias de la electrónica y electro mecánica, por mencionar algunos de los campos en los que se ve ampliamente de manifiesto, como lo son el control de cultivos, la navegación naval y aérea, control de flotas, entre otros; todo esto en tiempo real permitiendo cumplir con éxito las exigencias impuestas con optimo desempeño.

Importa también mencionar a la domótica; dispositivos que poseen las dotaciones suficientes para dar inteligencia a las estructuras edilicias, características que se utilizan también en otros ámbitos como son el control, instrumentación, mediciones digitales y analógicas, estaciones distantes, seguridad y monitoreo. También podemos mencionar aquí a la robótica, automatización y control de tareas que son empleadas para trabajos difíciles de ejecutar, tales como soldar enormes tuberías o bien las cubiertas de los navíos de gran porte, logrando corregir información en tiempo real.

2.3 Avances y principales referencias de los sistemas embebidos

Haciendo referencia a [22], los sistemas empotrados tienen un rol cada vez más significativo en las tareas diarias de nuestro entorno, debido a que facilitan la producción, la elaboración como así también la calidad, en un entorno totalmente dominado por las tecnologías de la información. Desde el prototipo e implementación de periféricos y la debida programación de aplicaciones para su construcción y puesta a punto, tarea que requiere de cierto tiempo de entrenamiento, haciendo posible manufactura calificada (recurso humano), la cual es demandada por el sector industrial. Por tal motivo, los organismos educacionales fijaron sus miras en fortalecer la implementación de

2 UART, ES la sigla en inglés de Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, en español: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal

3 Bluetooth es una especificación de la (WPAN) industrial para conexiones de área personal inalámbricas diseñados por Bluetooth Special Interest Group, Inc. Haciendo viable el envío de datos y voz de manera conjunta entre periféricos mediante la radiofrecuencia en la banda de los 2.4 GHz.

enseñanzas con sistemas embebidos debido a la creciente necesidad de trabajar utilizando estas tecnologías, donde el sector industrial presta mucho interés.

Una de las principales características del siglo 21 es la producción de programas con mayor eficiencia a medida que transcurre el tiempo. En tal sentido, también la exigencia de periféricos en cuanto a funcionalidades ha aumentado al punto que se podría estimar de modo proporcional al crecimiento de los programas; se ha ido afianzando el diseño de sistemas embebidos junto con periféricos de mayor potencialidad y reducido espacio, por el ejemplo la nanotecnología. La programación de reducidos dispositivos ha motivado nuevas exigencias de cara a los algoritmos a ser aplicado en los lenguajes de desarrollo de aplicaciones y funcionalidades de mayor alcance, puesta su mira en las necesidades industriales hacia la programación e implementación de periféricos con la función de operar en tareas complejas, con mayor velocidad y menor costo y tamaño [15]. Atender estas expectativas requiere cierta formación y procedimientos estandarizados que aseguren los objetivos deseados.

En las últimas décadas la industria y las instituciones educativas destinaron tiempo, esfuerzo, recurso en el logro de mayor eficiencia en metodología y procedimientos para el desarrollo y aplicación de sistemas embebidos.

El diseño e implementación referidos a los periféricos ha ido avanzando de manera conjunta al del desarrollo e implementación de aplicaciones para ordenadores, con lo que se puede afirmar que se han estado diseñando de manera conjunta dependiendo uno del otro. En sus comienzos las dos tecnologías (desarrollo de sistemas embebido y software) se diseñaban del mismo modo, no obstante, con el transcurrir del tiempo se fueron dividiendo en tres campos con muchos avances. Estas disciplinas son ciencias de la computación, ingeniería electrónica y eléctrica. Las ciencias de la computación han avanzado sobre técnicas, pasos, procesos, algoritmos dando estructura robusta al tratamiento de la información de manera eficiente, ágil y precisa mientras que la ingeniería electrónica como campo disciplinar fue brindando toda la estructura periférica (hardware) como soporte a las ciencias de la computación haciendo posible la transmisión y procesamiento de la información. La ingeniería del software se abrió camino con desafíos que han ido solucionando a través de la generación de lenguajes de programación que podrían ser interpretados por el hardware con mucha precisión y escritos por el ser humano de modo muy simple a nivel de diseño y análisis. Así mismo, se han diseñados modelos de procesos que indican y ordenan el desarrollo para estas

formas de productos.[24][25], mientras que la Ingeniería Electrónica avanzó de modo diferente, más precisamente en técnicas y electrónica digital. En este sentido se fueron estableciendo fundamentos tecnológicos basados en las compuertas lógicas, lo que ha servido como introducción a periféricos de mayor complejidad, como la caja negra, desde donde se pueden generar nuevos dispositivos y de ese modo estar en constante avance tecnológico.

Por otra parte, los diseños y producción de dispositivos han venido tornándose cada vez más complejos en consonancia con el diseño e implementación de nuevas aplicaciones para su desarrollo, como así también con el diseño de los denominados Lenguajes de Descripción de Hardware, cuya sigla en inglés es HDL, que simplifican su legibilidad. Los avances en el diseño de periféricos han favorecido la actualización de procedimientos, estrategias y modelos de desarrollo tomadas de la ingeniería del software logrando lenguajes de programación descriptivos, a la par de procesos donde muestran referencias para la solución o simulación del dispositivo en vías de desarrollo [26]

2.3.1 Áreas de aplicaciones y principales tecnologías

En términos de Silberschatz [22] y con el objetivo de desarrollar en modo predictivo los nuevos sistemas embebidos, el Observatorio de Prospectiva Tecnológica de España realizó una investigación que da cuenta de las inclinaciones tecnológicas referidas al uso de los sistemas empotrados. Un grupo de investigadores y referentes de la temática observaron las principales áreas posibles de inserción y aplicación.

Siguiendo a [17], vemos que los expertos agruparon las principales tendencias en tres áreas de carácter transversal, a partir de una síntesis documental de información:

1ª El diseño de arquitectura y referencias del estándar.

2º La conectividad y capa intermedia (middleware entre los servicios de red y las aplicaciones y los métodos).

3º Herramientas y procesos para el diseño de sistemas.

Como también generalmente es sabido y como refiere [22] se aplica en cada una de las características que se pueden resumir de la siguiente forma:

2.3.1.1 Diseño de arquitectura y referencia

- Aumentar la credibilidad (tolerancia a fallas) con diseño de mecanismos infalibles para realizar tareas bajo características degradadas dándole cierta longevidad en relación a su vida útil.
- Incorporar el uso del Sistema Galileo (diseñado e implementado por la unión europea) ⁴ de modo tal que vaya reemplazando al sistema de posicionamiento global (GPS) estadounidense
- Hacer genérico el uso de aplicaciones abiertas para el desarrollo de sistemas empotrados de tiempo real
- Diseño de puertos de comunicaciones para dispositivos con sistemas embebidos y entorno
- Desarrollar series completas de periféricos open source con arquitectura e interfaces de libre y fácil acceso maleable por el usuario
- Estandarizar la conectividad entre dispositivos de modo tal que operen entre si
- Diseño de integrados (microchip) con funciones de auto test de funcionalidad y configuración para situaciones de extremas condiciones
- Implementación con el advenimiento de la microelectrónica, de integrados System o chip⁵(SOC) con propiedades de comunicación para mejor aprovechamiento y fiabilidad logrando un menor espacio mayor eficiencia reduciendo costo y consumo eléctrico

2.3.1.2 Conectividad y capa intermedia

- Diseño de mecanismos para corroborar la identidad y mantener conexiones punto a punto exactas de confidencialidad
- Compatibilidad de redes de corto alcance (inalámbricas)
- Diseño de sistemas empotrados con características plug and play
- Diseño de conectividad ad hoc (Mesh)⁶ acoplables a cualquier tipo de red generalizando la comunicación en regiones de bajo piso tecnológico o infraestructura de comunicación.
- Habilidades de diagnosticar, preparar probar, configurar, repararse por si solo y su distribución a gran escala.
- Habilidad para optar en cada tiempo cual sería el protocolo de comunicación más conveniente para transmitir de manera ágil y confiable sin la pérdida de información

4 Sistema de navegación global por satélite. Proyecto sostenido por la agencia Espacial Europea.

5 Conjunto de tecnologías de diferentes circuitos integrados concentrados en un único chip.

6 Son conectividades con infraestructura de acople a la red entre dispositivos donde pese a estar fuera de un área de cobertura pueden estar dentro del espectro de un nodo móvil en modo de topología ad-hoc.

- Hacer posible el vínculo a través de la red entre dispositivos de manera confiable y automatizada con procedimientos de cuidado y seguridad asegurando la veracidad de los datos
- Innovadora manera de obtención de energía para garantizar su funcionalidad de modo independiente y la auto recarga incluso sin la necesidad de conexión a la red eléctrica.

2.3.1.3 Métodos, herramientas y procesos para el diseño de sistemas

- Abaratar la inversión en diseño e implementación por medio del uso de instrumentación de simulación y modelado, de este modo, poder organizar el variado abanico de los incipientes sistemas empotrados.
- Reducir el costo de desarrollo mediante técnicas de modelado y simulación para gestionar la complejidad creciente de los sistemas.
- Programar procesos innovadores y entornos de desarrollo, depuración, compilación, y armado de prestaciones en comunidades tecnológicas, para el alcance de innovadoras arquitecturas, por ejemplo los Many-Core⁷.
- Estandarizar el uso de modos de control para aceptar los sistemas empotrados en primera instancia de desarrollo
- Impulsar el control de calidad de aplicaciones empotradas teniendo presente principalmente los sistemas de uso crítico.
- Diseñar innovación en modelados para estándares de sistemas empotrados.
- Programación de herramientas para la implementación de modelados en los ciclos de desarrollo referentes a software tanto como hardware.

2.3.2 Plataformas de desarrollo para sistemas embebidos

Como dicen en [27], los programadores siempre han tenido preferencia por utilizar el lenguaje de programación C, para el diseño e implantación de sistemas embebidos para arquitectura de microcontroladores o microprocesadores. El alcance y capacitación de C en la comunidad de

⁷ Son procesadores que constan, de varios núcleos programados para un alto desempeño en paralelo, que soportan varios núcleos de procesadores.

desarrolladores ha originado un amplio abanico de herramientas, tecnologías como bibliotecas, sistemas operativos y compiladores.

Las matrices de puertas lógicas programable (FPGAs) son una nueva implementación tecnológica para el espacio embebido que da la funcionalidad de la creación de lógica digital programable con la ayuda de lenguajes descriptivos para hardware. En el aprovechamiento del periférico y presentación, teniendo presente la naturaleza paralela del buen rendimiento de los circuitos digitales, los entornos de desarrollo para hardware ofrecen una semántica distinta a la que usualmente acostumbran los desarrolladores de software. Al existir herramientas de programación para FPGAs que brindan propiedades de desarrollo muy amigables para los expertos en desarrollo de software, los programadores de sistemas embebidos obtienen muchas ventajas con el uso de los FPGAs en sus implementaciones.

En el mercado de desarrollo hay una gran variedad de plataformas (entornos de desarrollo) que posibilitan la implementación de SE de reducido tamaño. Estos dispositivos de entrada/salida analógicos y digitales poseen capacidad de procesamiento y almacenamiento.

Existen varias plataformas de hardware disponibles en el mercado para sistemas embebidos, que van desde sencillas plataformas de 8 bits llegando a sistemas heterogéneos de SoC-FPGA⁸ (ver figura 6) con gran poder de cómputo y capacidad para portar Sistemas Operativos [28].

8 “Los **FPGA** Intel® **SoC** integran un sistema de procesador duro (HPS) basado en ARM * que consta de procesador, periféricos e interfaces de memoria con el tejido FPGA”[1]

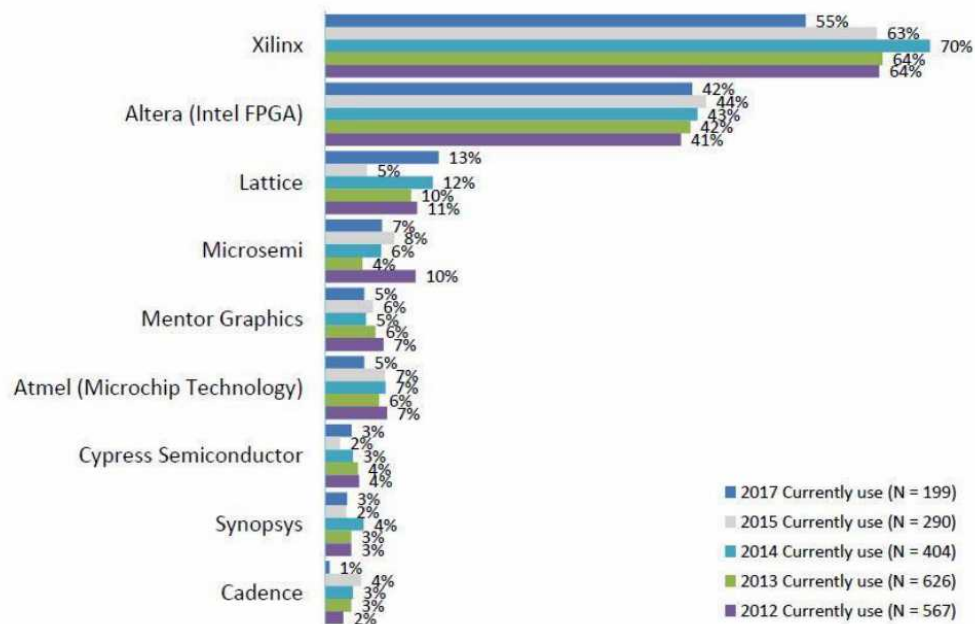


Figura 6: Selección de FPGA en la última década

Fuente [27]

A continuación, como se puede observar en [28] se presenta algunas plataformas existentes para el desarrollo de sistemas embebidos

2.3.2.1 Placa LPCXpresso

Este tipo de plataforma de placa diseñada por NXP y Embedded Artists es accesible económicamente y de pronta implementación. Este tipo de integrado se ha diseñado para un prototipo de pronta respuesta y una implementación simple. La serie de placas existente en el mercado es muy variada. Un ejemplo de éstas es la LPC1769, que se vale de un procesador con un gran poder de cómputo y gran capacidad de almacenamiento. Se desarrollan aplicaciones en él gracias a un entorno de programación libre, que es brindado por el distribuidor, utilizando el IDE de Eclipse. En el listado siguiente se presentan las principales funcionalidades y propiedades de esta placa:

- Memoria flash de 512 kB. ▪ 70 pines de I/O.19
- Alimentación 3,3V
- 8 conversores analógico-digital de 12 bits
- 4 puertos UART

- IDE, este entorno está basado en Eclipse diseñado por NXP
- Frecuencia de reloj 120 MHz
- Placa de diseño incorporada con conexión USB a la PC
- Cuatro contadores de propósito general de 32 bits
- Procesador ARM Cortex M3 de 32 bits

Esta placa se divide en dos. La primera, con el nombre de tarjeta, posee el microcontrolador con sus partes de hardware y el puente a varios pines; mientras que la segunda tiene el nombre de “LPC Link”, programador que es del tipo JTAG/SWD y brinda la posibilidad de acceso al ordenador mediante el puerto USB, como así también a la placa tarjeta debido a sus 16 pines.

En la Figura 7 se ve la placa de programación, con la tarjeta y el LPC Link juntos como las provee el fabricante. Es posible utilizar cualquier de ellos sin la necesidad que estén juntos.

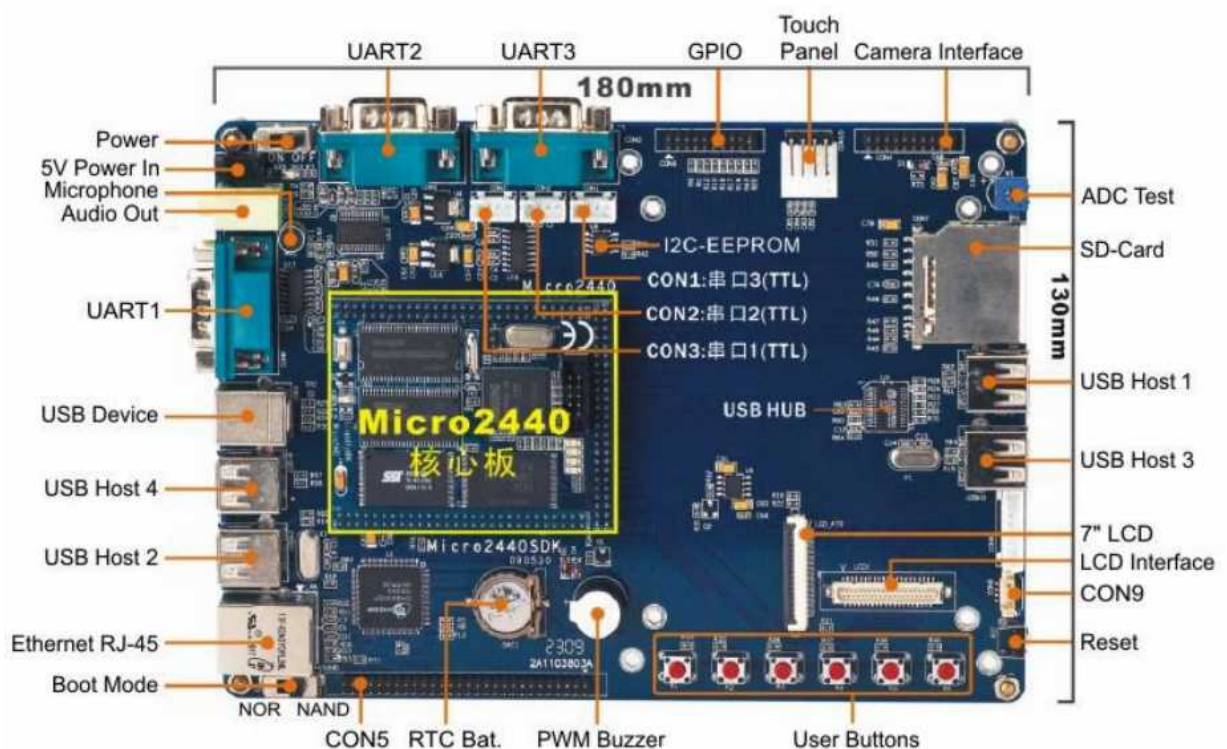


Figura 7: Placa de desarrollo Micro 2440

Fuente:<http://www.friendlyarm.net/products/micro2440>

El entorno de desarrollo que se usa para trabajar ese Micro es el LPCXpresso, implementado por el fabricante. Esta aplicación, que está basada en Eclipse, se obtiene del sitio web del fabricante.

2.3.2.2 Microcontrolador ADuC

El conjunto de microcontroladores de costo económico de Analog Device se ha diseñado para implementaciones front ends, como por ejemplo el ADuC841.

2.3.2.3 Plataforma Arduino uno

Como se puede ver en [29] Arduino es una plataforma open source de muchas prestaciones, generalmente para el diseño e implementación de aplicaciones software en conjunto con el hardware electrónico. Es capaz de enviar y recibir información a prácticamente todos los dispositivos con puertos de comunicación, incluido el protocolo tcp/ip con http para el control de periféricos específicos. Su plataforma base es un periférico denominado Arduino Uno; una placa base de circuito electrónico trabajando en forma conjunta con un entorno de desarrollo (IDE Arduino), y el lenguaje de programación C++, para vincularse a la placa base y posterior desarrollo de necesidades de diseño.

Su uso habitual es la programación del micro-controlador debiéndose esto, a su simple configuración y manejo.

2.3.2.4 Micro2440SDK

Como lo explica [28] Esta plataforma (Figura 7) fue diseñado por “FriendlyArm”, su velocidad de procesamiento es 400 MHz está compuesto por un microprocesador S3C2440A, su costo económico es muy superior a las vistas en páginas anteriores en esta sección, debido a su gran potencialidad y capacidad de servicio. Esta plataforma presenta cierta similitud a un ordenador personal debido a que cuenta con entrada/salida de sonido, adaptadores para memoria SD, pantalla LCD con touch-screen, 4 puertos USB, Puerto Ethernet, puertos series RS-232, entre otros como se observa en la Figura 7.

En esta placa es posible programar sobre la misma debido a que se ejecutan los sistemas operativos Windows CE y Linux. Son algunas de las siguientes sus especificaciones técnicas:

- LCD, CMOS Cámara Interface, 32 bit, RAM: 64 MB
- Flash: hasta 1GB
- Dimensión: 180 x 130 mm
- EEPROM: 1024 Bytes (I2C)
- MB NOR Flash con BIOS
- SPI, USB

- Entrada salida analógica
 - Memoria de extensión: SD-Card socket
 - 4x LEDs de usuario
 - Salida de audio: 3.5 mm estéreo Jack
 - Entrada de audio: 3.5mm jack (mono) + micrófono
 - Microprocesador de 400 MHz Samsung S3C2440A ARM920T
 - RTC: Reloj de tiempo real con batería (CR1220)
 - Puerto serie: 3x DB9 (RS232)
- Ethernet: RJ-45
- Beeper: PWM buzzer
 - Cámara
 - LCD
 - Panel táctil
 - Expansión headers (2.0 mm)
 - Alimentación: 5V

2.3.2.5 SoC DE10-Nano

Siguiendo a [28], se muestra un conjunto de elementos (ver Figura 8, diseñado por la compañía terasIC, el cual presenta un entorno de programación sobre System on Chip (SoC)-FPGA. Éste fusiona un procesador dual core-Cortex-A9 con lógica programable logrando desarrollos con una gran adaptabilidad. Con estas características que lo manipulan, el dispositivo cuenta con una gran flexibilidad y gran prestación al momento de su configuración para realizar los proyectos para los que se lo requiere. El SoC integra un conjunto de procesamiento con bases en ARM⁹ compuesto por circuitos integrados de gran prestación tales como; procesador, memoria, bus de interconexión con amplio ancho de banda, con memorias DD3, entrada salida de audio, puertos Ethernet entre otros.

9 Antiguamente, Advanced RISC Machine, era un diseño RISC (computador con Conjunto Reducido de Instrucciones = Reduced Instruction Set Computer) de 32 bits, con advenimiento de su última versión V8-A, de 64 Bits, diseñado por ARM Holdings.

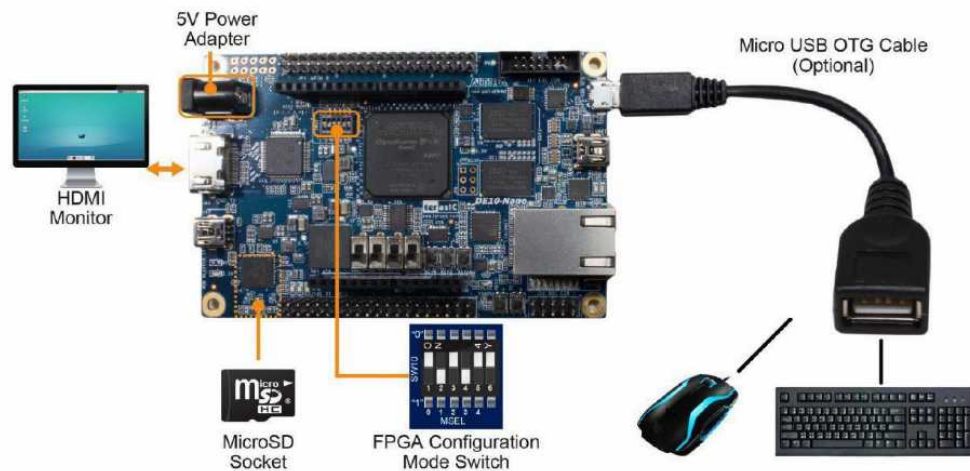


Figura 8: SoC DE10-Nano

Fuente [28]

Utilidades de Programación:

- EDS incorpora el ARM Development Studio (DS-5) para corrección de programas Linux utilizando el puerto Ethernet.
- Altera SoC Embedded Design Suite (EDS): posee varias aplicaciones como plantillas para el desarrollo de programas de tal modo que resulte simple la implementación de un determinado proyecto al momento de realizar trabajos requeridos para esta plataforma
- Quartus II: es una herramienta de software producida por Altera para el análisis y la síntesis de diseños realizados en HDL, está dotada de las herramientas fundamentales para realizar tareas sobre la FPGA

El dispositivo viene con una imagen del SO Linux compilada, el cual es posible ejecutar desde la memoria micro SD.

2.3.3 Implementaciones de Sistemas Embebidos

Como se puede ver en [28] el Simposio Argentino de Sistemas Embebidos (SASE) es un acontecimiento que convoca anualmente a la colectividad industrial y académica sobre sistemas empotrados. Este evento anual cuenta con importantes presentaciones en formato Workshops y tutorías. Lo mismo ocurre en el Congreso Argentino de Sistemas Embebidos (CASE), el cual

convoca proyectos de investigación referidos a la temática. Estos artículos son publicados y de acceso a las personas interesadas sin costo alguno. A su vez, se convoca a concursos de proyectos a estudiantes de diferentes unidades académicas. En años anteriores al 2020 contó con un plan de equipamiento a unidades académicas y un plan de becas de albergue para estudiantes extranjeros y estudiantes de universidades públicas.

Los principales objetivos de SASE son la difusión de todo lo relacionado a la temática de la tecnología asociada a los sistemas empotrados en la esfera de expertos y académicos; busca también apoyar la interacción de lo académico con lo industrial en cuestiones relacionadas a los sistemas embebidos, como así también promover en los estudiantes y profesionales el interés en el desarrollo con este tipo de tecnologías.

Como se puede ver en [30] existen numerosos artículos que dan cuenta del estado del arte por mencionar algunos de los sistemas embebidos desarrolladas en la región, de manera conjunta con la industria y unidades académicas e institutos de investigación, se observa diferentes prestaciones como podemos ver en la tabla 2.1

Tabla 2.1: Trabajos presentados en SASE 2019. Adaptado de [30]

Introducción a los Sistemas Embebidos	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción básica a la programación de Sistemas Embebidos mediante CIAABOT IDE.
RTOS, Sistemas Operativos de Tiempo Real	<ul style="list-style-type: none"> • RTOS • Introducción a la Robótica Móvil con EduCIAA.
FPGAs, HDLs y ASICs	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación y Uso del NIOS II en un FPGA.
Programación de Sistemas Embebidos	<ul style="list-style-type: none"> • Programación multicore de la EDU-CIAA-NXP. • Programación de Sistemas Embebidos en lenguaje C/C++ con la plataforma CIAA. • Programando la CIAA como PLC mediante IDE4PLC
Linux embebido	<ul style="list-style-type: none"> • Cor-E Sat, armado y aplicaciones de un pequeño satélite educativo.

	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de filtros digitales en la EDU-CIAA-NXP. • Programación de microcontroladores en lenguaje C.
Sistemas de Comunicaciones	Radio Definida por Software (SDR) y aplicaciones en Internet de las Cosas (IoT) ..
IoT, Internet de las Cosas	<ul style="list-style-type: none"> • Matr IoT: prototipo de aplicaciones móviles multiplataforma para conectar con sensores. • Lenguajes seguros para sistemas: Rust. • Soluciones de IoT a través de Amazon Web Services. • Creando un Sistema IoT con Programación en la nube usando herramientas libres.
Diseño y Fabricación de Sistemas Embebidos	Principios para el desarrollo de impresos con baja emisión y alta inmunidad. Diseño de circuitos impresos con KiCad.

[31]

2.3.4 Sistemas operativos embebidos

Como especifica [28], hablar de sistemas embebidos en la actualidad es hablar de aplicaciones complejas implantadas en todos los ámbitos del quehacer humano donde la programación de estos dispositivos demanda cierto nivel de recursos en lo que refiere a hardware debido a las exigencias del software como ser la ejecución en simultáneo de diferentes procesos tanto como la sincronización de éstos, soporte a la conectividad entre dispositivos contemplando diversos protocolos de conexión, administración de diferentes dispositivos, sistema de ficheros, seguridad, paneles táctiles y administración de memoria, entre otros. En este contexto, el desarrollo de sistemas operativos propietarios implica un sinnúmero de variables que lo encarece a tal punto que resulta imposible su desarrollo para propósitos generales por la alta demanda de personal calificado para su desarrollo e implementación. Es entonces, donde tiene sentido la utilización de

sistemas embebidos. Los teléfonos móviles en 2005 ya tenían más de 5 millones de líneas de código, en este contexto se pone en evidencia el provecho de pagar cierta cantidad de dinero por cada teléfono móvil para el uso del SO en vez de realizar el desarrollo propio, lo cual implica una alta demanda en término de horas de desarrollo [32]

Se suele denominar sistema embebido al sistema operativo inserto en un integrado de modo permanente, por lo tanto, existen diversas alternativas al momento de hacer una elección de S.O. embebido. Décadas anteriores a la actualidad, los microprocesadores empotrados (inicialmente de 8 bits) no tenían gran poder de cálculo y los SO comerciales se caracterizaban por procesamiento del tipo secuencial o de primer plano. Con las innovaciones en los microprocesadores, los SO también se han ido innovando a la par, dando soporte a programas multitarea con sincronismo entre los programas, como así también para manejo de dispositivos gráficos y sistema de ficheros[32].

Para el logro de lo expuesto, estos tipos de sistemas se valen de mecanismos de utilización de planificadores con el esquema multitarea cooperativa, también llamados expropiativos [28].

En la figura 9 muestra un detalle de los SO embebidos frecuentemente usados a nivel

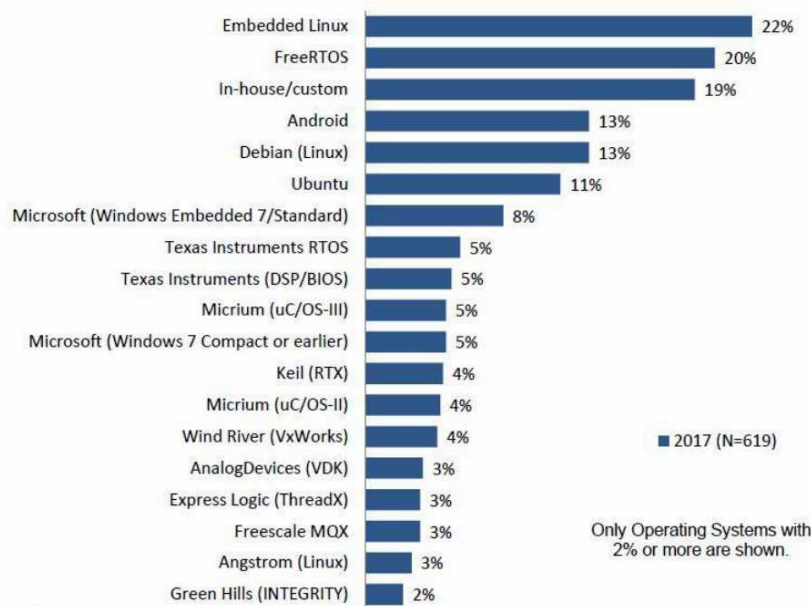


Figura 9: Sistemas operativos embebidos

Fuente: [28]

mundial.

Como dice [28], existen casos particulares, como lo es el uso de programación para biomedicina, que tiene por objetivo que el SE obedezca a estímulos de entrada por medio de

sensores resultando salidas en tiempo real (los denominados SO de tiempo real). El lapso en devolver una respuesta del sistema normalmente es llamado latencia [34]. siguiendo a [28], si el lapso de reacción es superior a un margen de tiempo establecido se determina que el sistema de tiempo real produce un error; por ejemplo el caso del control de *airbag* usado para accidentes de tránsito instalados en vehículos, donde el mecanismo de detección de impacto del sistema registra una colisión con lo que se tendrían que activar los airbags dentro de los 9 milisegundos previniendo golpes graves en los pasajeros del automóvil. Suele denominarse a este tipo de SE “sistema de tiempo real duro” (hard real time). Otro ejemplo con menor rigurosidad, son los denominados “sistemas de tiempo real blando” (soft real time). Para estos casos, el tiempo de reacción generalmente se encuentra dentro del intervalo especificado con la salvedad de que si el sistema registra algunos intervalos fuera del rango, no son considerados erróneos. Un caso particular de este tipo de sistema sería un reproductor de audio o video; suele suceder que en determinados intervalos el sistema pierda información de video o audio sin que se perciba.

Según las especificaciones técnicas, demandas y el tipo de trabajo a realizar, existen en el mercado diferentes sistemas operativos embebidos.

2.4 Tecnologías para el desarrollo web

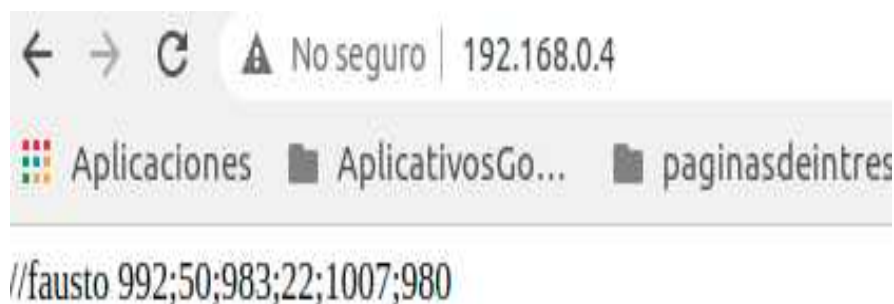


Figura 10: Datos vistos en un navegador web provenientes de los sensores

2.4.1 Uso de Hojas de Estilo

Como citan [11], [45], [57] Las hojas de estilo representan la parte estética de toda página web o sitio web, dándole un rango amplio de opciones para tener una mejor apariencia de las páginas. Al comienzo de las implementaciones de páginas web en la década de los 90 tenía únicamente incumbencia en los ámbitos científicos y académicos, por lo que se centraban en sus contenidos más que en su presentación cosa que hoy día ocurre en ambos sentidos (apariencia y contenido). A medida que la tecnología web era de mayor incumbencia por un espectro creciente de personas de todas partes del mundo, las limitaciones del HTML se transformaron en constante frustración a la hora de presentar los contenidos, con lo que los especialistas en esas tecnologías se vieron forzados a innovar las prestaciones del estándar HTML frente a sus limitaciones donde las hojas de estilo hicieron un gran aporte. Algunas de las principales características de las hojas de estilo están dadas por:

- La posibilidad de definir los estilos de todo un sitio web por medio un solo patrón único, esto se hace posible con la creación de un fichero donde se colocan todas las declaraciones de estilos del sitio web y enlazando todas las páginas con ese archivo.
- La definición de estos estilos dadas por clases.
- Los estilos se heredan de una etiqueta hacia otra.

Dadas tales características, las hojas de estilo solucionan las cuestiones de estética y al mismo tiempo sustituyen al limitado conjunto de mecanismos de presentación del HTML. En el presente trabajo de investigación como puede observarse en la figura 11, el uso de la hoja de estilo donde se

hace simple especificar la cantidad de espacio entre líneas, el sangrado de las líneas, los colores a utilizar para el texto y el fondo, el tamaño y estilo de las fuentes, y otros detalles.

También se observa en la figura 12 la implementación del diseño de fondo por medio de hojas de estilo disponible en la web.

```
!DOCTYPE html>
<html lang="es">
<head>
<title><?php echo '..Indicadores de Sensores de temperatura en Tiempo Real:.'?></title>
<style type='text/css'> body { color: red; background-image: url('http://www.solofondos.com/wp-content
<meta charset='utf-8'>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
</head>
<body>
<table style="width:100%">
<tr>
<th style="width:16%"> </th>
<th style="width:54%"><enter> <hr size='5' color=#00CC00> <h1>Indicadores de Sensores de temperatura en
<th> </th>
</tr>

<tr>
<td> </td>
<td><enter> <div class="wrap">
<ul id="menu">
<li><a href="#">Inicio </a></li>
<li><a href="grafico2.php">Ver Gráfico</a></li>
<li><a href="#">Imprimir</a></li>
<li><a href="#">Ver puntos </a></li>
<li><a href="#">Almacenar ensayo en la base de datos</a></li>
</ul>

```

Figura 11: Uso de las hojas de estilo

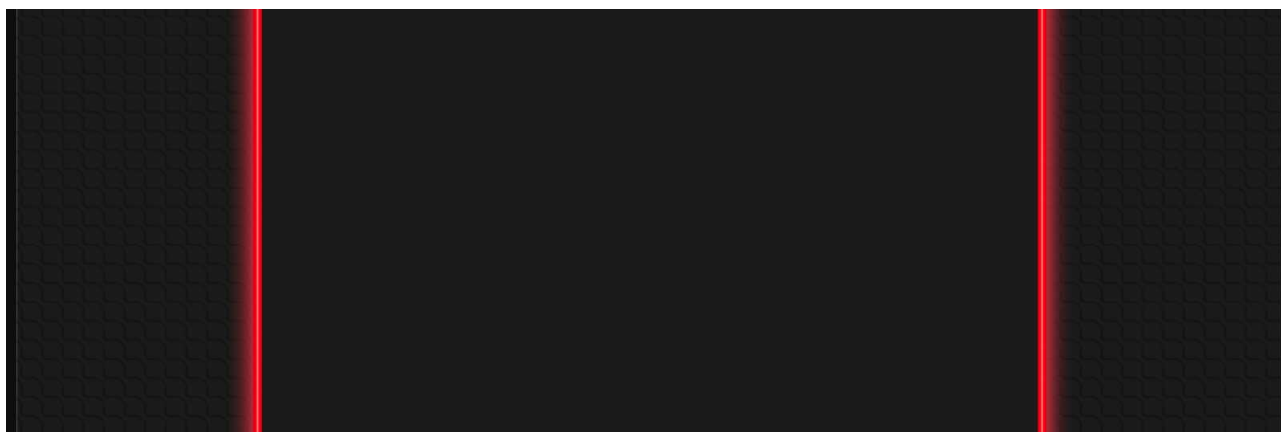


Figura 12: Elección del Fondo, por medio de la utilización de hojas de estilo

2.4.2 Uso del lenguaje HTML

Para el uso del dispositivo es necesario el lenguaje HTML. En el presente trabajo de investigación, siguiendo a [58],[59] quienes refieren al HTML por sus siglas de HyperText Markup Language (Lenguaje de Marcado de Hipertexto), es la estructura de marcado existente para la construcción de páginas web. Es usado para describir la esquematización y contenido en forma de texto, hoy día, específicamente para complementar el texto con otras tecnologías de desarrollo e implementación web tales como el lenguaje PHP, las hojas de estilo en cascada, Javascript, objetos como imágenes etc . HTML se usa en forma de etiquetas, encerradas por corchetes angulares (<,>).

El HTML es interpretado comúnmente por todos los navegadores web, donde las reglas para su presentación, las definen un organismo sin fines de lucro conocido como World Wide Web Consortium, (W3C). Es una tecnología de uso estandarizado implementada por todas las empresas vinculadas con el mundo de las comunicaciones e internet, esto sería una misma página. Se lo ve de la misma forma en cualquier navegador web de cualquier sistema operativo. La W3C establece que los ficheros de formato HTML usen la extensión .html o htm.

En el presente proyecto de investigación se establece la implementación del lenguaje HTML como principal complemento para la presentación de los resultados obtenidos de los sensores.

2.4.3 Uso del Lenguaje de programación PHP

Como refiere [16] el uso del lenguaje PHP requiere ciertos pasos previos técnicos para su implementación de modo tal que sea utilizado en un servidor web y poder sacar provecho de sus grandes prestaciones, como se aplica en el presente trabajo de investigación.

Los programas a tener presente para el desarrollo del presente trabajo serían los siguientes:

- Un servidor web o aplicación permite a nuestro ordenador contener páginas web dinámicas. Para el presente trabajo se utilizó Apache, un programa de código fuente abierto y libre, se ejecuta en cualquier sistema operativo.
- El lenguaje PHP, que está constituido por una serie de rutinas que nos facilitara aplicaciones escritas en este lenguaje de programación desde un servidor web, los cuales serán mostrados por un navegador web.
- Un sistema de gestión de bases de datos para que aplicaciones desarrolladas en PHP almacenen los datos provenientes del exterior. Para el presente trabajo se eligió MySQL.
- Un procesador de texto plano, puede ser el bloc de notas a otras alternativas como HTML Kit Notepad ++, Dreamweaver, para el presente trabajo de investigación se utilizo PHPStorm.

Es posible instalar por separado todos los programas mencionados en el párrafo anterior, también es más simple usar XAMPP, es un paquete de aplicaciones ya parametrizado que incorpora todas esas prestaciones. Hay diferentes versiones para sistemas operativos como Mac, Solaris, Linux y Windows. Se puede descargar del sitio oficial.

CAPÍTULO 3
 Materiales y métodos

3.1 Introducción

El investigador necesita del manejo apropiado de la humedad en suelo, haciendo referencia a lo descrito por [35], acorde a las demandas en trabajos requeridos, sujeto a variables y parámetros físicos de humedad. Algunos profesionales que estudian la humedad del suelo se valen de dispositivos sofisticados para la medición de humedad, otros se basan en formas empíricas o en el sentido común. Cualquiera sea el método usado, cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas.

A la hora de considerar la humedad en suelo el investigador generalmente se basa en dos estrategias a seguir: el tiempo de flujo de agua en suelo que necesita y la cantidad de agua a ser aplicada.

En este capítulo se tratan estas cuestiones a través del análisis de las herramientas, técnicas y tecnologías existentes.

3.2 Técnicas de medición de humedad en suelo

Una técnica de uso común para determinar cuándo aumentar el nivel de humedad en suelo es detectar manualmente la falta de agua en suelo, según se postula en [35] en el cual se describe la baja del nivel de humedad en suelo, donde es necesario aplicar un riego.

Cuando el perfil del suelo está saturado llega a lo que se conoce como capacidad de campo (ver figura 13). En estas condiciones el perfil se encuentra al 100% de su capacidad de humedad y también se aproxima al 0.1 bares de tensión. Esta última es una escala que mide la fuerza con que las partículas del material poroso (suelo) sostienen a las moléculas del líquido (agua). Cuanto más aumente la retención de humedad, aumentará también la tensión, de modo que cuando se tenga una tensión de 0,1 bar el fluido en suelo no tiene mucha resistencia por el material poroso (suelo), a medida que la humedad baje aumentará la tensión.

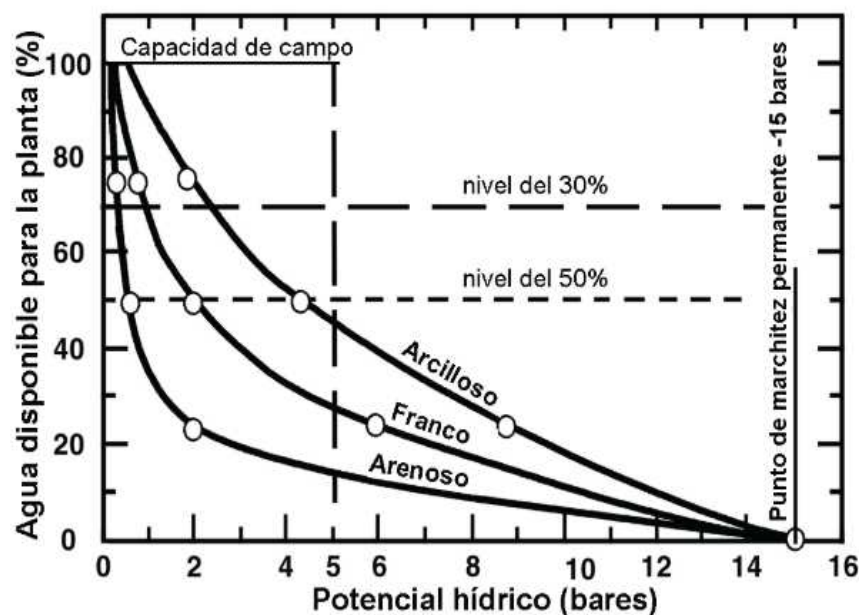


Figura 13: Gráfico de eficiencias estimadas para veriedos promedio y períodos de uso máximo de agua

Fuente: [34]

3.2.1 Escalas y métodos de medición de humedad en suelo

Teniendo como referencia a [36], una buena precisión de la humedad del suelo en diferentes regiones es menester para muchas aplicaciones en los campos de la investigación y de la agricultura, indistintamente de su magnitud, debido a que permite conocer el comportamiento del agua y su impacto según sea el caso del perfil de suelo; es decir, pobres en humedad o suelos muy mojados. Los objetivos para tener precisión de la humedad del suelo son varios: planificación de la agricultura, estimación para la toma de decisiones, entre otros. En el campo de la investigación, como lo es en el presente trabajo, no obstante, el plan para el uso del suelo es primordial conocer bien la cantidad de agua a ser usada en el tiempo y espacio. La humedad del suelo es identificada como la capacidad de almacenamiento en torno al perfil de suelo no saturado. Estas capacidades constantemente fluctúan a medida que el perfil de suelo se hace profundo, lo que dificulta tener certeza sobre las mediciones de humedad en suelo. Actualmente, un recurso interesante para realizar estas mediciones son los sensores de humedad del suelo, que permiten observar como el agua se transporta en este medio, de manera tal de obtener datos para generar conocimientos acerca de la reacción del agua en determinadas regiones geográficas.

La cantidad de contenido acuoso en superficies porosa, es una variable de importancia para el estudio del agua en suelo. En nuestro país, la práctica de escalar las mediciones de agua en suelo no suele ser sistemática.

Existen diversas maneras de medir la humedad de suelo: dieléctrico, neutrónico, gravimétrico, por mencionar algunos.

Como refiere [37] el principal inconveniente que se presenta es la medición de humedad del suelo, es que, indistintamente del método de observación o utilización de sensores con el objetivo de medir el agua que se almacena en el suelo, implica necesariamente una intervención del medio que se quiere tomar una muestra; a saber, por ejemplo, la manera dieléctrica por reflectometría en el dominio de frecuencias, donde es necesario el uso de un sensor capacitivo que mide la constante dieléctrica.

Estos sensores capacitivos se utilizan para registrar forma constante, debido a que registran valores con una óptima resolución temporal. Para la lectura, se realiza una pequeña cavidad en el suelo, se conecta a dataloggers, cuyos costos son variados y accesibles. Como desventaja en el uso de estos sensores, se puede considerar la poca representatividad espacial por el volumen de suelo en muestra, debido a que la cantidad del suelo no supera una superficie de 0,10 m de radio. Como resultado, las muestras de los sensores capacitivos podrían ser sensibles a irregularidades en torno de los mismos si su forma de colocación no es totalmente adecuada.

Otra desventaja a tener presente es que las muestras son sensibles a las propiedades del volumen de suelo (porosidad, densidad aparente, entre otros) que rodea al sensor

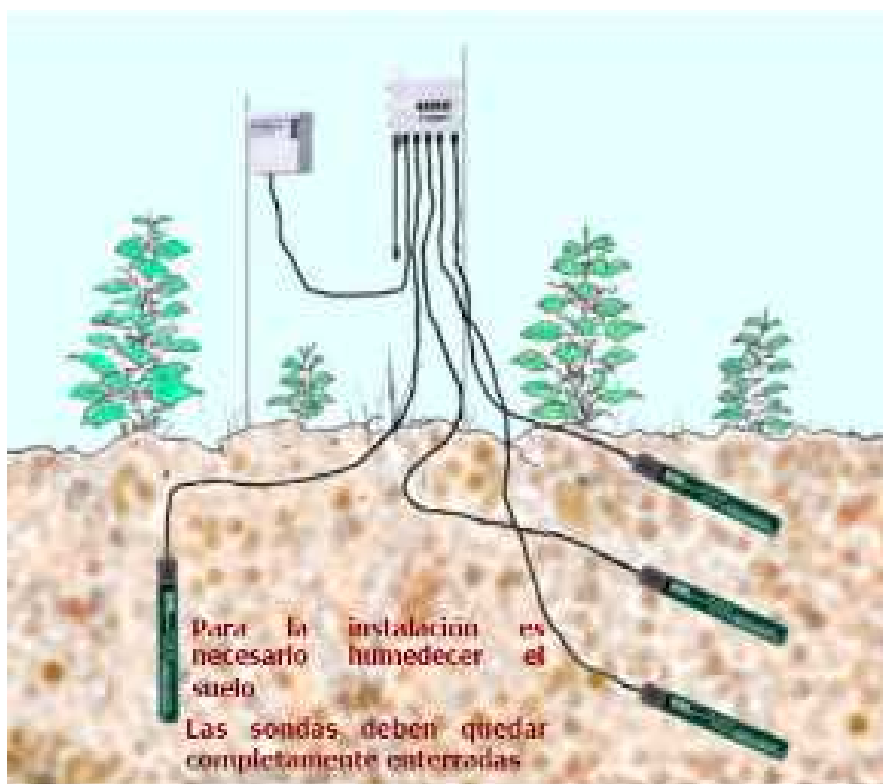


Figura 14: Sonda de neutrones

Fuente: <https://images.app.goo.gl/N7XE2fWjse5oJKj37>

Por otra parte, existe el método de muestreo utilizando sonda de neutrones (ver Figura 14), consiste de un dispositivo que tiene un generador radiactivo que envía neutrones rápidos, estos chocan con el hidrógeno que está en las moléculas de agua dentro de la matriz del suelo, y vuelven como neutrones lentos. El dispositivo cuenta la cantidad de neutrones que regresan al sensor transformando el indicador a valor humedad del suelo por medio de una curva de calibración. Su preparación requiere únicamente la instalación del cilindro de aluminio en el suelo, donde entra la sonda para practicar las muestras a diferentes distancias. Para su uso requiere de personal calificado.

Otro método existente es el gravimétrico, que consiste en muestras de suelo a diferentes niveles y por diferencia de peso. Entre lo que está seco y húmedo se tiene precisión de la cantidad de agua. Es una forma infalible de medir la humedad del suelo, como también es ponderable su procedimiento simple, razón por la que es visto como el principal método para calibrar la humedad del suelo observado frente a otros tipos de sensores. En cuanto a las dificultades para su implementación, la principal sería que requiere de personal especializado para procesar las muestras.

3.2.2 Otras tecnologías para medición de humedad en suelo

Como cita [35] en la última década se contó con nuevos dispositivos y métodos para medir la humedad en suelo; tales técnicas para la determinación de humedad en el suelo se valen de herramientas de medición de reflectancia en el dominio del tiempo (denominadas sondas TDR) y de capacitancia eléctrica (denominadas sondas C y reflectómetros). Los dispositivos TDR (ver figura 15) funcionan bajo la dinámica de presencia de agua en el suelo el cual altera la velocidad de inundación de una onda electromagnética. Según lo explica [38] el dispositivo envía una onda electromagnética por medio de una guía (un par de alambres paralelos) instalada en el suelo a una distancia de la superficie requerida. El dispositivo por consiguiente obtiene la diferencia en tiempo que le lleva a la onda en viajar hacia el suelo por la guía de alambre y regresar. Este dispositivo toma el tiempo y lo transforma en un indicador de humedad. Cuanto más mojado sea el medio, mayor será el tiempo de la onda magnética en transmitirse a través del suelo. Las sondas C y los dispositivos FDR utilizan un oscilador de corriente alterna por medio del cual arma un circuito eléctrico en unión con la tierra. Luego de que las sondas son colocadas en el suelo, donde es posible que sean puntas paralelas, el oscilador obtiene indicadores de frecuencia según la cantidad de humedad de la tierra. Casi todos los dispositivos utilizan herramientas de forma cilíndrica para el acceso en el suelo (parecidas a las sondas de neutrones).

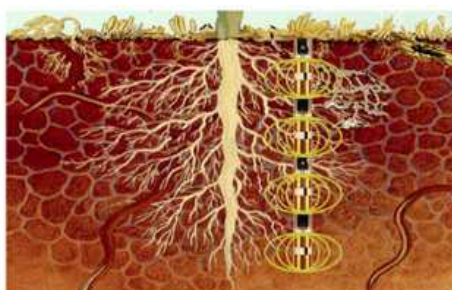


Figura 15: Sondas TDR

fuente:

<https://images.app.goo.gl/Gy2q8KGaj1e5qBWc6>

3.3 **Herramientas de comunicación en proyectos de control de humedad**

Habiéndose visto en la sección anterior, en modo resumido, algunos de los dispositivos, métodos y técnicas comúnmente utilizados en la medición de suelo, en este apartado se hará mención de las principales tecnologías utilizadas para implementar el dispositivo de medición de humedad propuesto para este trabajo desarrollado en suelo por medio del método de medición

dieléctrico; en las sub secciones siguientes se explicarán las técnicas y tecnologías intervinientes para la construcción del dispositivo de prueba para calibración y medición de humedad en suelo.

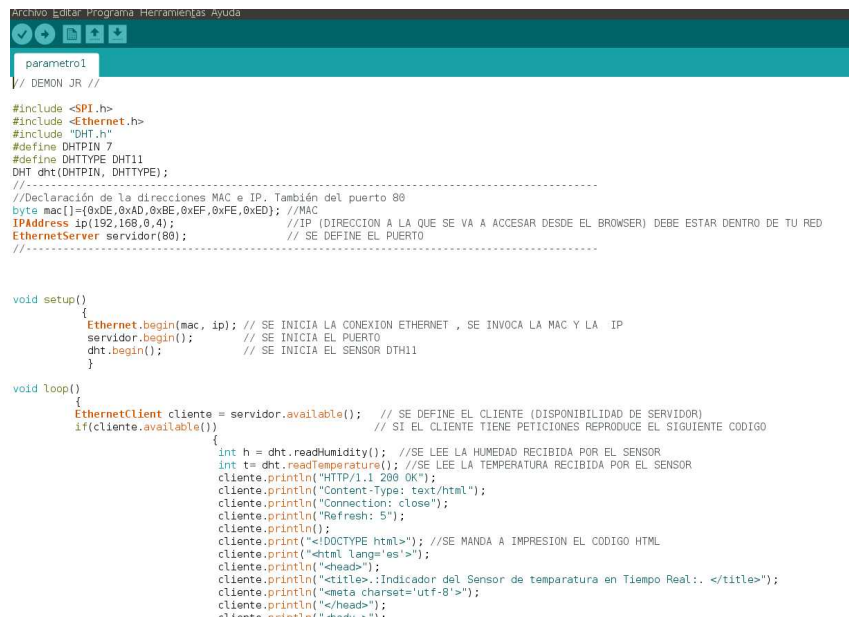
3.3.1 Arduino uno

Como refiere [39] Arduino uno es una plataforma de código abierto para la elaboración de productos electrónicos de código libre (open source); tiene su base en hardware y software para la creación e implementación de prototipos electrónicos, los cuales resultan altamente maleables y no muy difícil de aprender a manejar. La plataforma posibilita la construcción de variadas formas de micro ordenadores de una sola placa, siendo su uso liberado a la imaginación y capacidad de quien lo manipule.

Arduino posibilita por medio de su plataforma los elementos necesarios, donde cualquier individuo u organismo interesado que así lo desee pueda construir sus propios dispositivos. La plataforma Arduino también brinda un IDE (Entorno de Desarrollo Integrado “Ver Figura 16”), que consiste en un entorno de desarrollo y cualquiera que desee utilizarlo pueda sacar provecho de todas sus funciones, a tal punto que se puede experimentar una amplia variedad de funciones interesantes.

El proyecto Arduino uno, tuvo sus inicios en 2003, cuando un grupo de estudiantes del Instituto de Diseño Interactivo de Iberia (Italia), lo creó con la finalidad de brindar de modo gratuito el uso como así también poner a disposición del público en general el servicio de la programación y electrónica de manera más económica, por no decir sin costo alguno, frente a productos que en el mercado tenían un costo aproximado a los cien dólares.

El proyecto resultante fue Arduino, una placa con entradas o salidas a periféricos listos para conectar a las terminales de un microcontrolador. Su programación puede ser multiplataforma (GNU/Linux, windows, macOS).



```
Archivo Editor Programa Herramientas Ayuda
parametro1
// DEMON JR //

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

//-----
//Declaración de la dirección MAC e IP. También del puerto 80
byte mac[]={0xDE,0xAD,0xBE,0xEF,0xFE,0xED}; //MAC
IPAddress ip(192,168,0,4); //IP (DIRECCION A LA QUE SE VA A ACCESAR DESDE EL BROWSER) DEBE ESTAR DENTRO DE TU RED
EthernetServer servidor(80); // SE DEFINE EL PUERTO
//-----

void setup()
{
  Ethernet.begin(mac, ip); // SE INICIA LA CONEXION ETHERNET , SE INVOKA LA MAC Y LA IP
  servidor.begin(); // SE INICIA EL PUERTO
  dht.begin(); // SE INICIA EL SENSOR DHT11
}

void loop()
{
  EthernetClient cliente = servidor.available(); // SE DEFINE EL CLIENTE (DISPONIBILIDAD DE SERVIDOR)
  if(cliente.available()) // SI EL CLIENTE TIENE PETICIONES REPRODUCE EL SIGUIENTE CODIGO
  {
    int h = dht.readHumidity(); //SE LEE LA HUMEDAD RECIBIDA POR EL SENSOR
    int t = dht.readTemperature(); //SE LEE LA TEMPERATURA RECIBIDA POR EL SENSOR
    cliente.println("HTTP/1.1 200 OK");
    cliente.println("Content-Type: text/html");
    cliente.println("Connection: close");
    cliente.println("Refresh: 5");
    cliente.println();
    cliente.print("<!DOCTYPE html>"); //SE MANDA A IMPRESION EL CODIGO HTML
    cliente.print("<html lang='es'>");
    cliente.println("<head>");
    cliente.println("<title>.Indicador del Sensor de temperatura en Tiempo Real. </title>");
    cliente.println("<meta charset='utf-8'>");
    cliente.println("</head>");
  }
}
```

Figura 16: Entorno de desarrollo integrado de Arduino

3.3.2 Arduino Shield

Como refiere [40] el Arduino Ethernet Shield V1 hace posible la conexión a Internet del Arduino en cuestión de minutos, previo conocimiento de la librería para tal fin. Su conexión a la placa Arduino uno es simple, pues va montada una sobre otra con los pines que trae a tal efecto, consta de un pequeño servidor web que brinda la página programada según necesidad del programador (básicamente devuelve valores a un navegador web externo que apunte a su dirección IP); para ello se debe conectar a la red por medio de un cable UPT categoría 5, periférico ya disponible en la placa. Por medio de unos simples comando se tiene conexión a internet, todas las librerías y ejemplos de uso del hardware están disponibles en la página oficial, más ejemplos útiles (documentación, programas y manejo de periféricos, código de ejemplo abiertos). Implica ello que se pone al alcance de cualquier interesado en aplicar el ajuste y dominio a su necesidad, sin preocuparse por el costo, un sólido punto de partida desde donde guiarse, como es la presente investigación.

3.3.2.1 Detalles técnicos de la placa

Siguiendo a [40], el Arduino Shield V1 hace posible que la placa Arduino uno tenga conectividad a internet. Posee un chip ethernet Wiznet W5100¹⁰ que permite una pila de red IP y

10 Empresa de tecnología (Internet of Things Device Plataforma). Compuesto por tecnología TCP/IP con cable que permite un alto funcionamiento y estabilidad frente a otros periférico que brindan soluciones

capas de TCP y UDP. Así mismo, permite hasta un total de cuatro conexiones simultáneas, suficientes para el presente proyecto de investigación. Además, posee una biblioteca lista a ser usada para escribir pruebas de conexión. La última revisión de la placa da cuenta del pin out 1.0 para la rev 3 de la placa Arduino UNO. Vemos también que el Ethernet Shield V1 cuenta con un adaptador RJ-45.

Dispone de un adaptador para tarjeta micro-SD sobre la placa, permitiendo que se pueda usar dicha tarjeta a los efectos de guardar datos para ser utilizados a través de la red. Por añadidura, esta placa posibilita su integración con las demás placas Arduino/genuino. Es posible el acceso para su lectura de la tarjeta micro SD por medio de la biblioteca SD.

Otro detalle interesante en placa es que posee un integrado de reinicio, haciendo posible que el modulo Ethernet se inicie de modo correcto al encenderla.

3.3.2.2 Otros detalles técnicos de la placa

- El rango que soporta en voltaje va de 36 Volt a 57 Volt de entrada.
- Transformador CC / CC optimo: considerado a 75% a 50% de carga
- Energía 9V
- Ruido y ondas (100 mVpp)
- Esté dentro del estándar IEEE802
- Posee Protección para sobretensión de carga como también protección cortocircuitos
- Está fuertemente Aislado de 1500 V

El componente Power over Ethernet es un periférico propietario no construido por Arduino, es un dispositivo de otra empresa.

3.3.2.3 Requisitos para su funcionamiento

- Para su funcionamiento es necesario una placa Arduino (no incluida)
- Energía necesaria 5 V (provista desde la placa Arduino)
- Driver Ethernet: W5100 disponible con búfer interno de 16K
- Conectividad de 10 / 100Mb
- Conexión con la placa Arduino por medio del puerto SPI

El punto marcado "INT" (por medio de una soldadura) posibilita la conexión permitiendo que la placa Arduino uno acepte notificaciones de sucesos controlados por las interrupciones del W5100.

de conectividad.

3.3.3 Sistema automático de riego basado en sistemas embebidos de bajo costo

En [41] , a modo de ejemplo se observa una similitud en cuanto a sus objetivos con el presente trabajo que consiste en la creación de un sistema automático de medición de temperatura y humedad de suelo. Siguiendo el ejemplo que vemos en [41] con el objetivo último de facilitar el riego de plantas en hogares, o bien la sencilla razón de no hacerlo. Con la implementación del presente proyecto, el cual por medio de sensores de humedad, hace posible el riego a determinados intervalos de tiempo y funciona por medio de un micro-controlador económico PIC18F4550¹¹ (Ver figura 17). Se tiene presente para el siguiente caso el número de plantas es limitado, ya que su activación es por medio de electroválvulas, que posibilitan el paso de agua haciendo posible el riego regular.

11 Circuito integrado programable. Tiene la capacidad de hacer y monitorear actividades en infinitas iteraciones debido a su memoria flash de óptima resistencia. Su MCU cuenta con 48 MHz, 8 Bits, 32 KB, 40 Pines y es de la familia de microcontroladores PIC18.

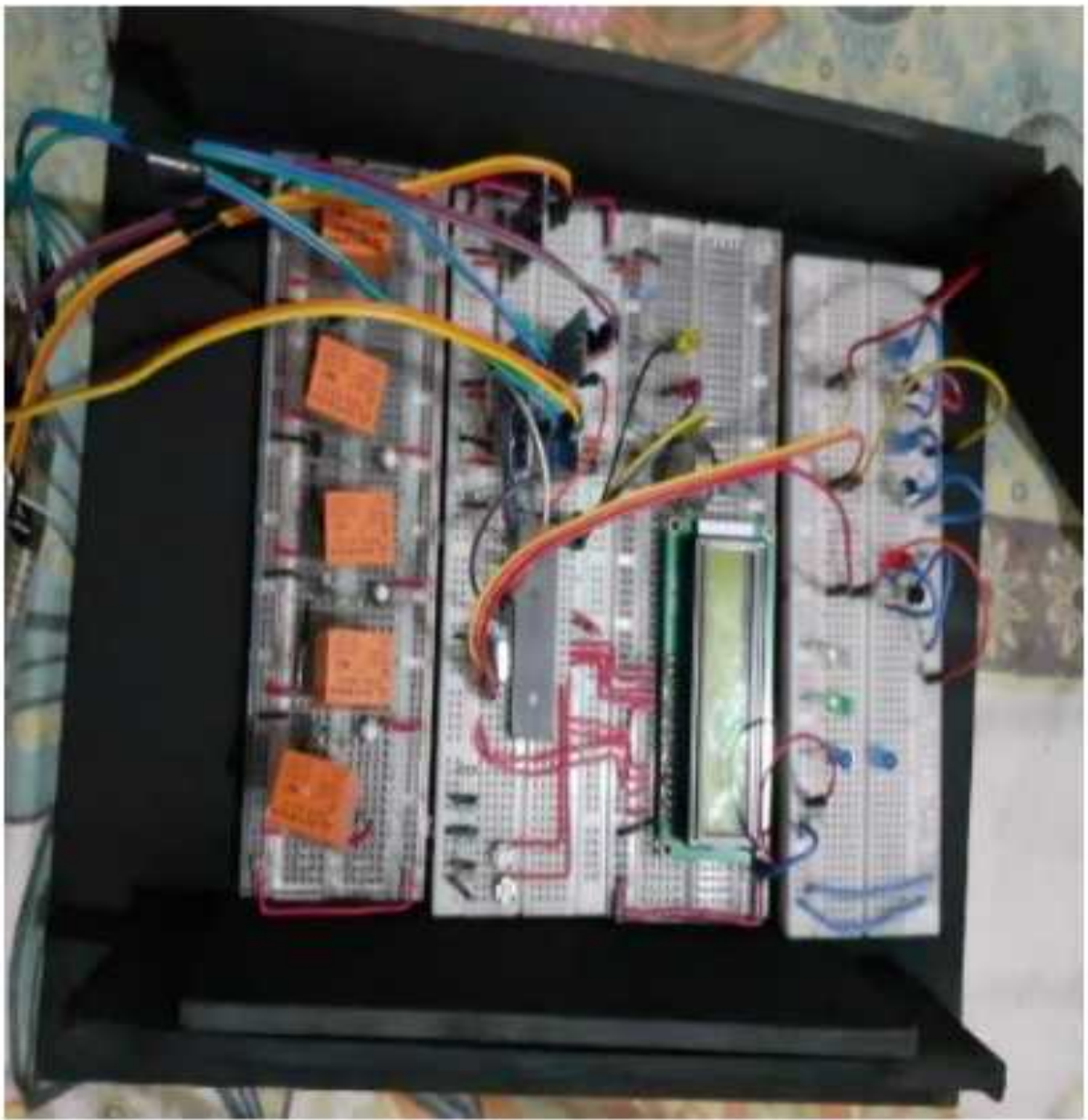


Figura 17: Sensores de Corrientes conectado al microcontrolador

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Sensor-de-corriente-conectado-al-microcontrolador_fig4_349146170

Para su operación no sería necesaria la intervención humana, ya que el proceso completo de riego es de manera automática. Sumado a esto, el proceso cuenta con un mecanismo de llenado de depósito de agua, por medio del chequeo del nivel de agua, con el propósito de mantener el recipiente para el riego siempre con agua. El objetivo es contar con reservorio de agua, que funciona del siguiente modo: en el instante que el nivel de vaciamiento este a un 75%, se prende un dispositivo automático(mecanismo de bombeo de agua) que envía agua al depósito sin la necesidad de intervención humana alguna. Obviamente cuando el nivel de vaciamiento esté cerca del 0 % se apaga el dispositivo.

Todo este mecanismo hace posible que siempre exista agua en el reservorio, anticipándose así a cualquier urgencia imprevista que impida que se cuente con el suministro de agua de red al momento que las plantas del hogar necesiten ser regadas. Adicionalmente, se puede observar en el proyecto que el material utilizado para su soporte e implementación es material de PVC¹² uno de los más usados teniendo presente, por un lado, su bajo costo y, por el otro, que no presenta corrosión al ser de plástico; a lo que se le agrega el hecho de ser muy manipulable para el traslado de agua, y sólo necesita herramientas de fácil adquisición y económicas para poder ser trabajado correctamente.

Este tipo de proyecto está pensado para aquellos individuos que no disponen de tiempo para la atención de un jardín o plantas en el hogar o que, por razones varias, deben ausentarse del hogar por un prolongado período de tiempo. En cuanto a su implementación tecnológica, se utilizan sensores de humedad para que interactúen con un sistema embebido de bajo costo y fácil implementación.

3.3.4 Sistema de riego automatizado con Arduino

También se puede observar otro ejemplo, como refiere [42], donde el proyecto se enfoca en la necesidad de las personas en contar con una tecnología que reemplace la manera manual de hidratar a las plantas en el hogar (ver Figura 18)

¹² es la sigla inglesa derivada de 'Polyvinyl chloride' que traducido al español su significado es Policloruro de Vinilo o material plástico PVC.

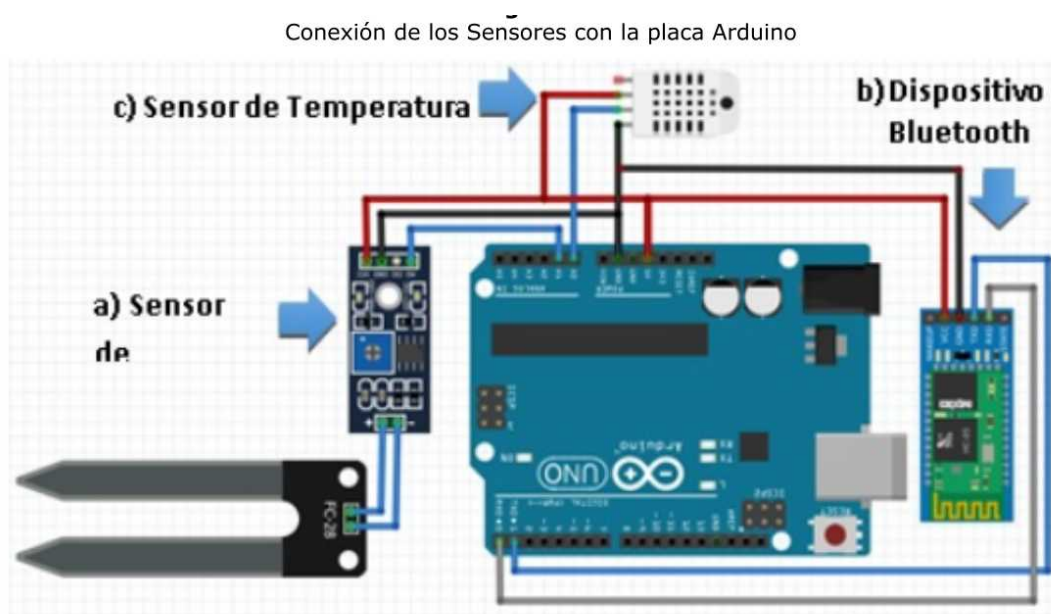


Figura 18: Conexión de los sensores con la placa Arduino

Fuente: [41]

Resulta evidente que a las personas les motiva tener sus propios cultivos, ya sea con fines ornamentales, o bien crean pequeñas huertas con fines terapéuticos, atendiendo las recomendaciones de profesionales de la salud. No obstante, el tiempo de dedicación para el mantenimiento de estas resulta crucial debido a la alta demanda que tiene un individuo promedio inserto en el sistema socio económico hoy día respecto de su planificación diaria y donde contratar un servicio de jardinería a tales efectos no es una opción. Es por ello que la mayoría encuentra el riego manual como la única opción viable, lo que muchas veces termina en fracaso debido a la falta de constancia y dedicación pues se ven afectados por otras demandas del sistema de vida impuesta hoy día.

Por consiguiente, vemos que el proyecto propone una solución económica y práctica a muchos individuos que precisan de un servicio de riego automático para un limitado número de plantas, integrado en una la placa Arduino, contando con sensores de humedad para la medición de los niveles de hidratación del suelo, como también con sensores de temperatura que miden la humedad del ambiente, activando de esta manera una señal para el riego automático.

3.4 Lenguajes de programación y entornos de desarrollo para la implementación del presente proyecto

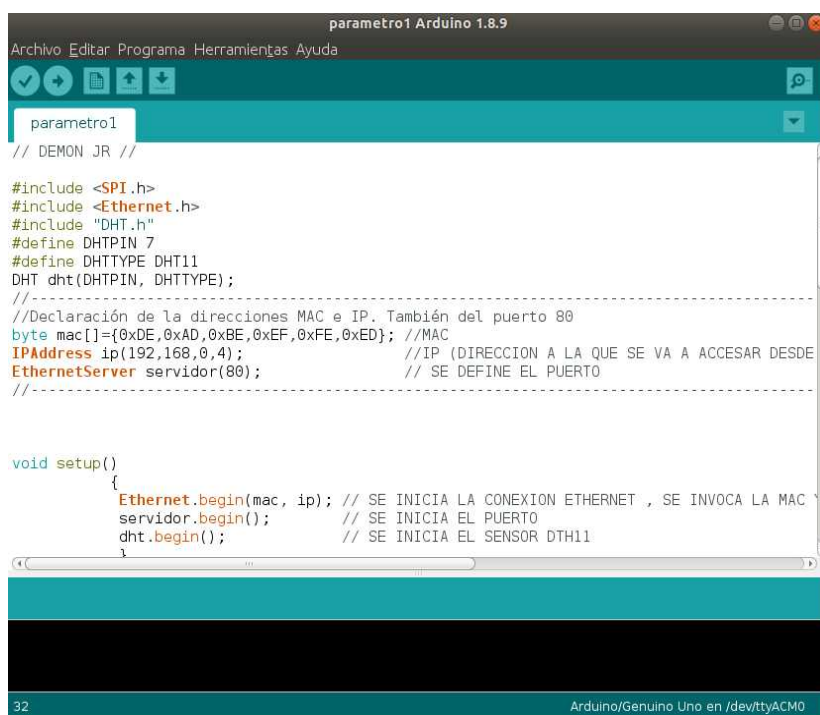
3.4.1 Lenguaje de programación para Arduino

Como refiere [43] el lenguaje de programación para las placas Arduino, pertenece a los AVR¹³ y es un entorno de lenguaje C (similar al C++) para programar los chips de Atmel. Casi la totalidad del lenguaje o core de Arduino está basado con funciones y constantes AVR; es complicado desarrollar con el lenguaje C de Arduino prescindiendo del código AVR(avr-libc), que consiste en una placa microcontrolador, no muy difícil de usar y económica, implementada en sus comienzos para hacer más simple el uso de la electrónica para diseños artísticos e interactivos a personas con poco conocimiento en la materia. Cabe mencionar que para hacer más simple su programación se desarrolló un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE Ver Figura 19), que tiene sus bases en el lenguaje Wiring²¹⁴, y utiliza un lenguaje de programación similar a C++. El IDE hace posible que se edite y luego compile para que sea cargado el programa en la placa Arduino. La comunicación es serial, mostrando los datos en una ventana del ordenador (ventana terminal). La plataforma Arduino hace posible la comunicación con el IDE por medio de un programa de carga (bootloader), en el microcontrolador del Arduino.

El entorno de desarrollo integrado se lo puede descargar de forma libre y gratuita del sitio oficial.

13 Es una unidad central de proceso. Posee 32 registros de 8 bits. Esta basada en arquitecturas de 8 bits desde los tiempos de Intel 8008, ya que su tamaño de palabra nativo de 8 bits (256 posiciones accesibles) es pobre para direccionar.

14 Una plataforma para realizar prototipos electrónicos de libre distribución. Posee un lenguaje de desarrollo basado en C, un entorno de desarrollo integrado, y un microcontrolador.



```
parametro1 Arduino 1.8.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
parametro1
// DEMON JR //

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//-----
//Declaración de la direcciones MAC e IP. También del puerto 80
byte mac[]={0xDE,0xAD,0xBE,0xEF,0xFE,0xED}; //MAC
IPAddress ip(192,168,0,4); //IP (DIRECCION A LA QUE SE VA A ACCESAR DESDE
EthernetServer servidor(80); // SE DEFINE EL PUERTO
//-----

void setup()
{
  Ethernet.begin(mac, ip); // SE INICIA LA CONEXION ETHERNET , SE INVOCA LA MAC
  servidor.begin(); // SE INICIA EL PUERTO
  dht.begin(); // SE INICIA EL SENSOR DHT11
}

32 Arduino/Genuino Uno en /dev/ttyACM0
```

Figura 19: IDE Arduino

3.4.2 Lenguaje de programación PHP

Este lenguaje por siglas deriva del acrónimo Hypertext Preprocessor. Es interpretado; su sintaxis tiene mucha semejanza al lenguaje JAVA o C++ (ver Figura 20), no obstante, se lo usa para realizar cualquier tipo de programa. Como cita [44] hace posible la construcción dinámica de páginas web, razón por la que se ha transformado en un lenguaje robusto, alcanzando una popularidad exponencial como lenguaje de programación. Su funcionamiento básico pasa a estar incrustado dentro de las etiquetas HTML desde el lado del servidor y cuando un cliente (navegador web) solicite esa página web, lo que llega al otro extremo de la petición (lado del cliente) son etiquetas HTML; este trabajo lo realiza el servidor.

A continuación, se nombran algunas de las características principales del lenguaje:

- Es de distribución libre y gratuita, se puede descargar del sitio oficial (<http://www.php.net>).
- Es multiplataforma, se puede usar en Windows, Linux, macOS, entre otros.
- En cuanto a documentación para poder aprenderlo, existen cientos de sitios oficiales con información disponible y gratuita, como por ejemplo <http://www.php.net>.

- Existen varias librerías que hacen posible la conexión a diferentes bases de datos para el manejo de puertos de conexión, como también el manejo de documentos PDF. Así mismo, tiene la característica de armar dinámicamente páginas en Flash, entre otras propiedades.

- Al estar corriendo del lado del servidor, los desarrollos PHP tienen la posibilidad de usar cualquier recurso del sistema operativo que, sumado a esto, es multiplataforma. Además, puede interactuar con cualquier dispositivo.

- En caso de que un cliente experimente una falla, el programa se podrá ejecutar desde cualquier otro cliente con conexión al servidor y que cuente con un navegador web.

- Posibilita incrustar un sentencia PHP en un código html sencillamente por medio de la etiqueta de apertura “<?php”, luego de esta cadena se coloca todo el código php necesario en ese fragmento para luego finalizar con la etiqueta de cierre “ ?>”. Es necesario una correcta configuración del servidor web para que interprete tales etiquetas, de modo tal que el cliente que solicite la página obtenga páginas web con etiquetas html transformadas por el servidor web, luego de interpretar las etiquetas php.

```
2 <!--<META HTTP-EQUIV="REFRESH" CONTENT="5;URL=http://192.168.0.6/index1.php"-->
3
4 <!DOCTYPE html>
5 <html lang="es">
6 <head>
7 <title>?php echo 'Indicadores de Sensores de temperatura en Tiempo Real:.';></title>
8 <style type="text/css"> body { color: red; background-image: url('http://www.soloFondos.com/wp-content/uploads/2015/11/fondocoLores.gif'); }
9 <meta charset="utf-8">
10 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
11 </head>
12 <body>
13 <table style="width:100%; text-align:center">
14 <tr>
15 <th style="width:50%; text-align:left"> </th>
16 <th style="width:50%; text-align:right"><hr size="5" color="#800080" <h1>Indicadores de Sensores de temperatura en Tiempo Real:</h1> </th>
17 </tr>
18 </table>
19
20 <tr>
21 <td> </td>
22 <td><div class="wrap">
23 <ul id="menu">
24 <li><a href="#">Inicio </a></li>
25 <li><a href="grafico2.php">Ver Gráfico</a></li>
26 <li><a href="#">Imprimir</a></li>
27 <li><a href="#">Ver puntos </a></li>
28 <li><a href="#">Almacenar ensayo en la base de datos</a></li>
29 </ul>
30 </div> </td>
31 </tr>
32 </table>
33
34 <tr>
35 <td> </td>
36 <td> </td>
37 </tr>
38
39 <td> <?php //echo 'Estado de los sensores<p>';
40 $html = file_get_contents( $filename: 'http://192.168.0.4:801/'); //Convierte la información de la URL en cadena
```

Figura 20: Código Fuente PHP

3.4.3 Entorno Integrado de Desarrollo PHPStorm

Para el desarrollo en php es bien sabido que es suficiente un procesador de texto de lo más básico, soportado en cualquier sistema operativo. No obstante, con la gran cantidad de prestaciones que posee el lenguaje de programación PHP, es también comúnmente sabido que desarrollar en un simple procesador de texto, es tarea ardua y muy empinada para lograr el objetivo si no se dispone de un entorno integrado de desarrollo. En tal sentido y, como se refiere en [45], se toma como ejemplo el sistema web en software libre para informatizar la gestión de actividades de posgrado, donde se observa que el sistema está basado en el entorno integrado de desarrollo phpstorm (Ver Figura 21), el cual posibilita la edición y corrección de código fuente php, como así también el desarrollo de interfaces gráficas. Este entorno de desarrollo está pensado principalmente para el lenguaje de programación php.

Así mismo, el IDE tiene la implementación y características de soporte de los lenguajes modernos para proyectos de alta demanda tecnológica, dentro de lo cual dispone de un excelente

acabado y control de sintaxis del código fuente, además, cuenta con un excelente soporte para tecnologías CSS, JavaScript y HTML.

Adicionalmente, dispone de un completo soporte para la base de datos MySQL. Se integra de manera excelente con el servidor web APACHE, logrando alta estabilidad y confiabilidad. Su prestación para el paradigma de la Programación Orientada a Objetos y el patrón MVC (Modelo Vista Controlador) fue otro punto crucial que se tuvo en cuenta para este proyecto.

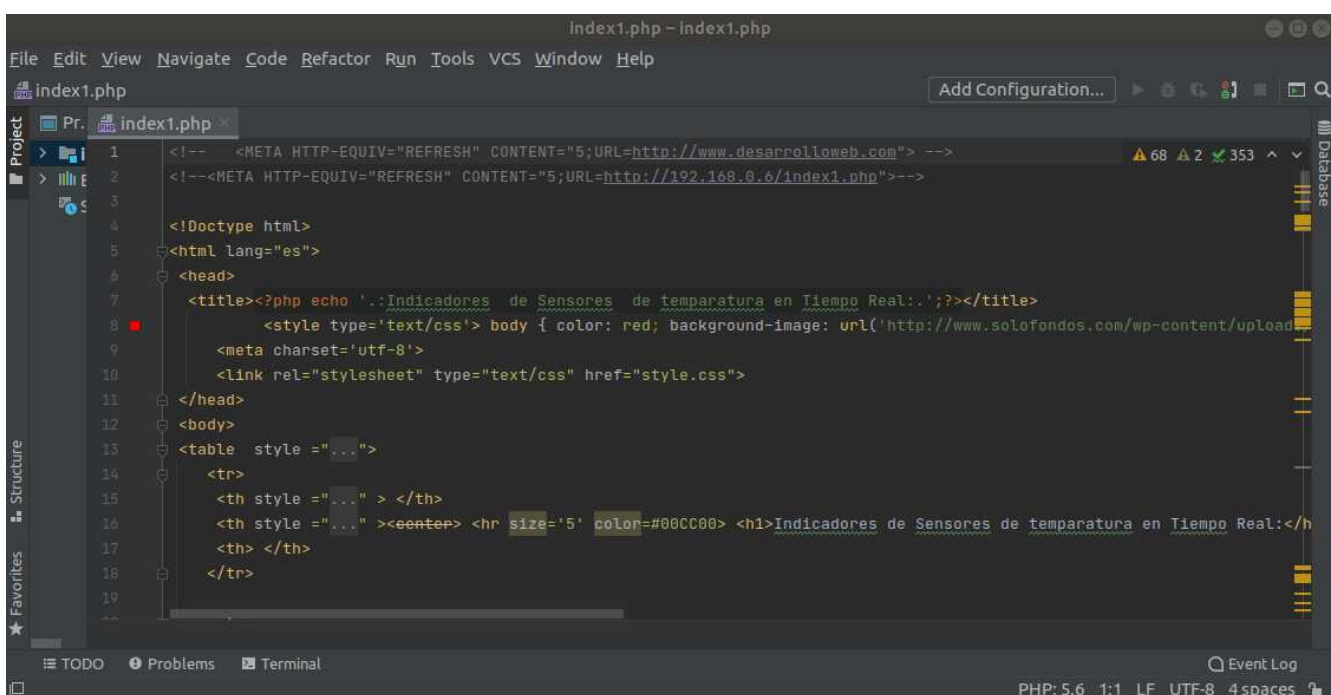


Figura 21: Entorno Integrado de desarrollo PHPstorm

3.4.4 Hojas de estilo en cascada

En las últimas décadas se ha podido observar que las páginas con formato html y sitios web han logrado mejorar en términos de presentación y estética si se las compara con las básicas páginas web, como ser las características de la web 1.0 (centrada en contenidos y ningún tipo de interactividad).

Con el advenimiento de la web 2.0, que se caracterizó por una web más dinámica, se popularizó el uso de las hojas de estilo, como en ese sentido, es mencionado en [46]. La forma en la que funcionan las hojas de estilo es, definir utilizando reglas especiales de marcado para presentación de contenidos web, consiste en definir mediante una sintaxis especial, la forma de presentación que se aplica a:

- Presentar un interesante potencial debido a que brinda gran prestación al desarrollo, pudiendo, a modo de ejemplo, estructurar diferentes formas de párrafo y colores incluyendo tipos de márgenes, etc.
- Aplicar características en una etiqueta en concreto, llegando incluso a poder definir varios estilos diferentes para una sola etiqueta.
- Aplicar estilo al sitio completo de manera que se lo pueda decir de una sola vez
- También es posible que un documento html o página lo tenga en pequeños fragmentos de código en la cabecera, en todo el documento o bien en parte del documento, aplicando diseños personalizados en estos fragmentos.

El potencial tecnológico resulta evidente, a la vez que su sintaxis posibilita aplicar formas a la página de modo mucho más preciso. Antes del advenimiento de la web 2.0, la tecnología HTML no presentaba características robustas al momento de bosquejar páginas web, por lo que el desarrollador tenía que valerse de trucos para darle presencia a la página web. En cambio, en la actualidad, gracias al CSS, existen técnicas y tecnologías que permiten definir de mejor manera un sitio web. Algunas de las más comunes son:

- El distanciamiento entre líneas.
- La ubicación de elementos en los documentos HTML con mejor exactitud, sin presentar imperfecciones.
- Mejor manera de presentar los objetos y claridad para visualizarlos.

El formato HTML únicamente definía características en documentos con porcentuales y pixeles; con CSS es posible precisar por medio de unidades como:

- Pixeles (px) y porcentaje (%), como antes.
- Pulgadas (in).
- Puntos (pt).
- Centímetros (cm).

Las innovaciones en navegadores web más actualizados tienen la capacidad de ajustarse a los estándares de innovaciones de las hojas de estilo.

En el presente proyecto de investigación se utilizan todas estas características de modo de contar con una gama de presentaciones estéticas, como se observa en la Figura 22.



Figura 22: Aplicación de Hojas de Estilo a proyecto de investigación

3.4.5 Lenguaje de Marcado HTML5

El lenguaje más utilizado para presentar Internet tal como la conocemos es el html, uno de los pilares de la web. Desde su aparición, Internet es la responsable en el mecanismo de transporte de información en todo el mundo y, en tal sentido, refiere [47] que en todas estas tres últimas décadas hemos ido experimentando cambios tendientes a satisfacer demandas de profesionales que publican contenidos constantemente para los usuarios. Luego de dos décadas (alrededor del año 2011), la World Wide Web Consortium (W3C) bosquejó lo que hoy conocemos como HTML5, que trajo aparejado maneras más simples para el desarrollo WEB, como ser la inclusión de componentes multimedia. Su principal característica de diseño se centró en la de solucionar problemas de modo más simple, donde el objetivo fue adquirir soluciones tendientes a simplificar la labor para el desarrollador.

Html es el lenguaje de etiqueta de marcado creado alrededor del año 1989 con el objetivo de armar documentos web. Desde entonces ha ido actualizándose acorde a diversas necesidades de

profesionales dedicados a publicaciones de contenidos, a medida que ha ido relevando muy variadas necesidades entorno a la información a ser procesada para ser vista por usuarios de la red. Es por ello que aparecen las diferentes revisiones del html, ya que sus características fueron mejorando con el correr del tiempo, llegando, a principios del año 2000, a renovarse con la sintaxis xml, lo que marcó la nueva tendencia de innovación de esta tecnología para la publicación de contenido bajo la denominación xhtml. Es así que desde entonces es posible conseguir cientos de manuales impresos referido a la temática, viéndose a xhtml como una actualización natural de html. Esto se mantuvo hasta agosto de 2002, cuando el W3C implementó nuevas actualizaciones con varias innovaciones de tipo semántico y una estructura más optimizada. Su constante actualización se mantuvo activa hasta fines del 2009, cuando se comienzan a definir los nuevos estándares que hoy día conocemos como HTML5 (ver Figura 23).



Figura 23: Lenguaje de Mercado HTML5

Fuente: <https://images.app.goo.gl/vGzY6bLKSExPSoeP9>

A partir del 2010 la W3C acepta Html5 como un estándar óptimo para la publicación de contenidos web. Se lo ha establecido para que su permanencia dure debido a que múltiples

mecanismos que facilitan la extensión del lenguaje con simplicidad compatibilizan con muchos estándares abiertos, tal como se puede apreciar en el presente proyecto de investigación.

CAPÍTULO 4

Dispositivo de medición de humedad en suelo

4.1 Introducción

El proceso de medición de la humedad de suelo en diferentes perfiles del presente proyecto incluye:

- Los materiales necesarios.
- La implementación metodológica.
- Las herramientas tecnológicas.
- La combinación de técnicas de medicinan con el conjunto de herramienta tecnológicas *open source*,¹⁵
- La medición de humedad del suelo interpretando los valores obtenidos para los sensores y comprensión del investigador y el usuario.

4.2 Materiales de Soporte

A continuación se describen los instrumentos para realizar la medición de humedad, en diferentes tipos de suelos y perfiles (ver figuras 24, 25, 26), que consisten en tubos de ensayos usados en laboratorios de investigación para realizar mediciones en diferentes condiciones de suelo, donde el objetivo principal es el comportamiento de los sensores en diferentes tiempos y estados del suelo.

15 Una oración formulada en ingles, actualmente se lo usa en el ámbito informático. Se lo puede traducir como “fuente abierta”.

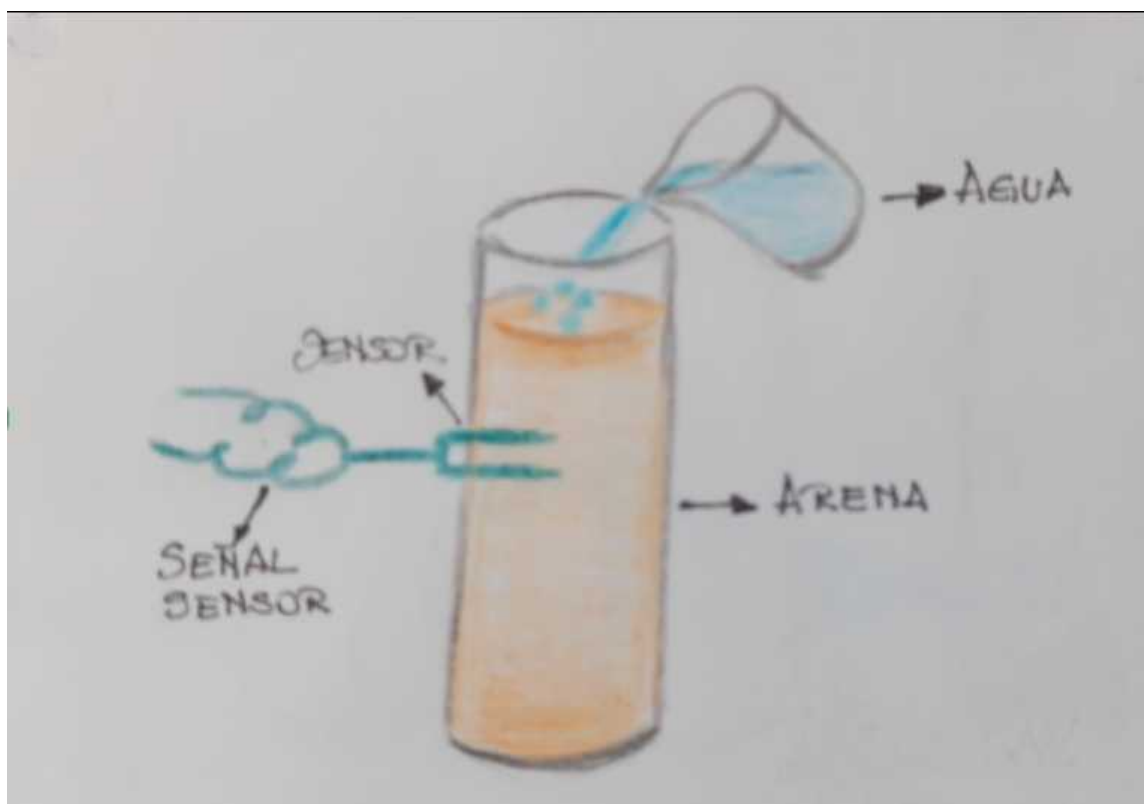


Figura 24: Tubo de ensayo con arena, sensor de Humedad con agua

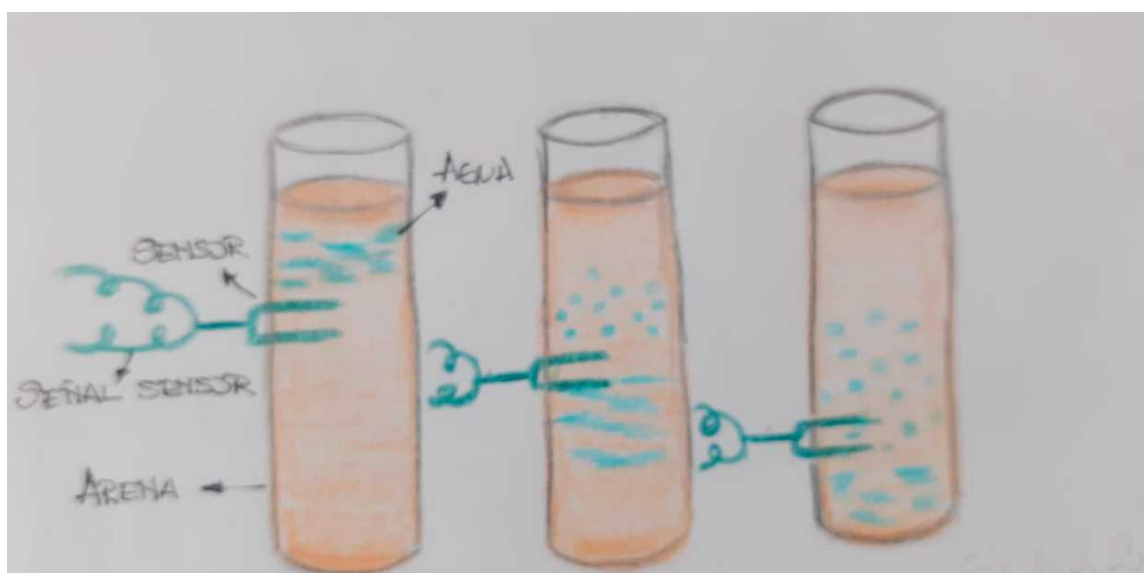


Figura 25: Tubos de ensayo con sensores en diferentes perfiles

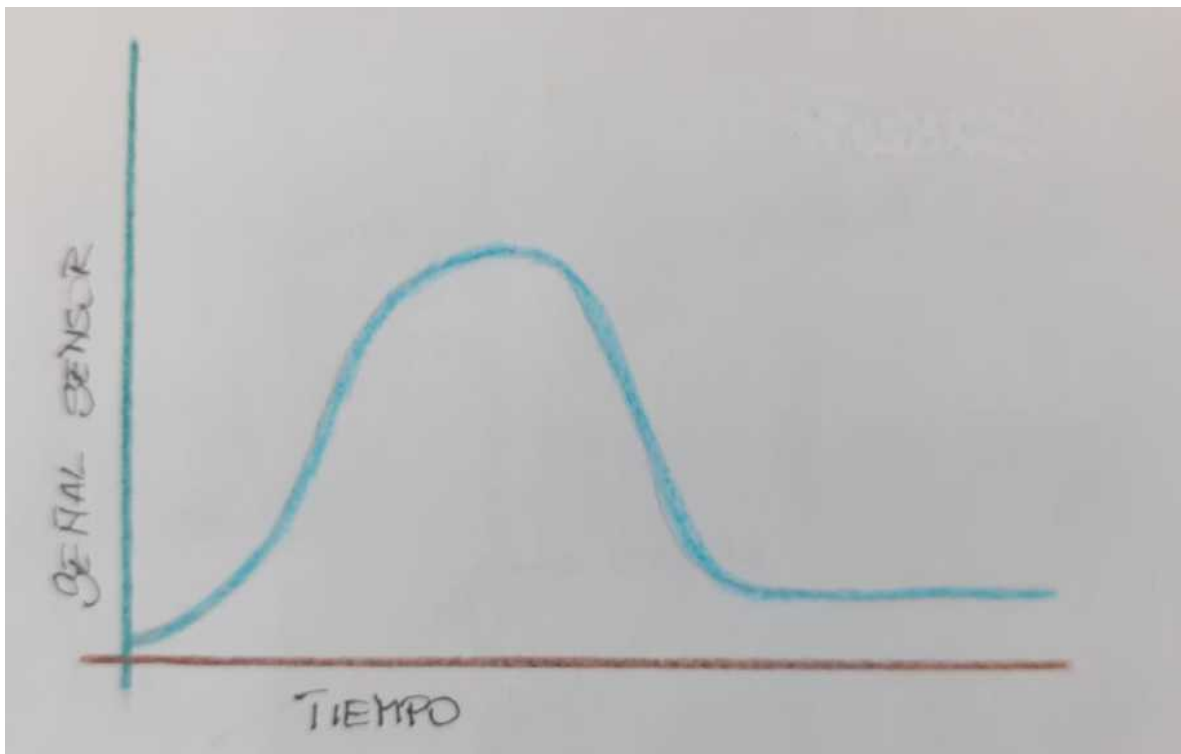


Figura 26: Gráfico Variación de la humedad de suelo en el tiempo

4.2.1. Sensor de Humedad YL-69 + YL-38

El sensor (Ver Figura 27) hace posible la medición de la humedad del suelo en su entorno, por medio de dos electrodos, estos conducen corriente a través del suelo, de ahí su interpretación de presencia de agua, debido a que a mayor cantidad, más fácil es la conducción de electricidad, por su parámetro de medición (mayor intensidad eléctrica, mayor presencia de agua), por el contrario si se presenta un suelo seco se tendrá menor intensidad eléctrica. De tal modo que el mecanismo sería el siguiente:

Como consecuencia tenemos que a mayor cantidad de agua la tierra conduce electricidad con más facilidad (menor resistencia). Los valores digitales transformados para estos casos están entre de 0 a 200, por el contrario, si el suelo es seco (mayor resistencia) los valores para estos casos van de 750 a 1023 [48]

Características del sensor

- Mide la humedad del suelo con la salida analógica de variación de voltaje (AO)
- Extremos de conexión para la tarjeta YL-38 (ver figura 27):

1. AO: Salida análoga para la medición de humedad.
 2. DO: Punto de salida digital que marca superación de umbral.
 3. VCC: Conectores para la alimentación.
 4. GND: Conector para Tierra.
- LED indicador de encendido
 - Marcador digital del nivel de límite extremo con salida para el usuario (DO) y LED como testigo.
 - Capacidad de alimentación: 2 V a 6 V.
 - Incluye 2 cables de conexión Hembra-Hembra de 10 cm.

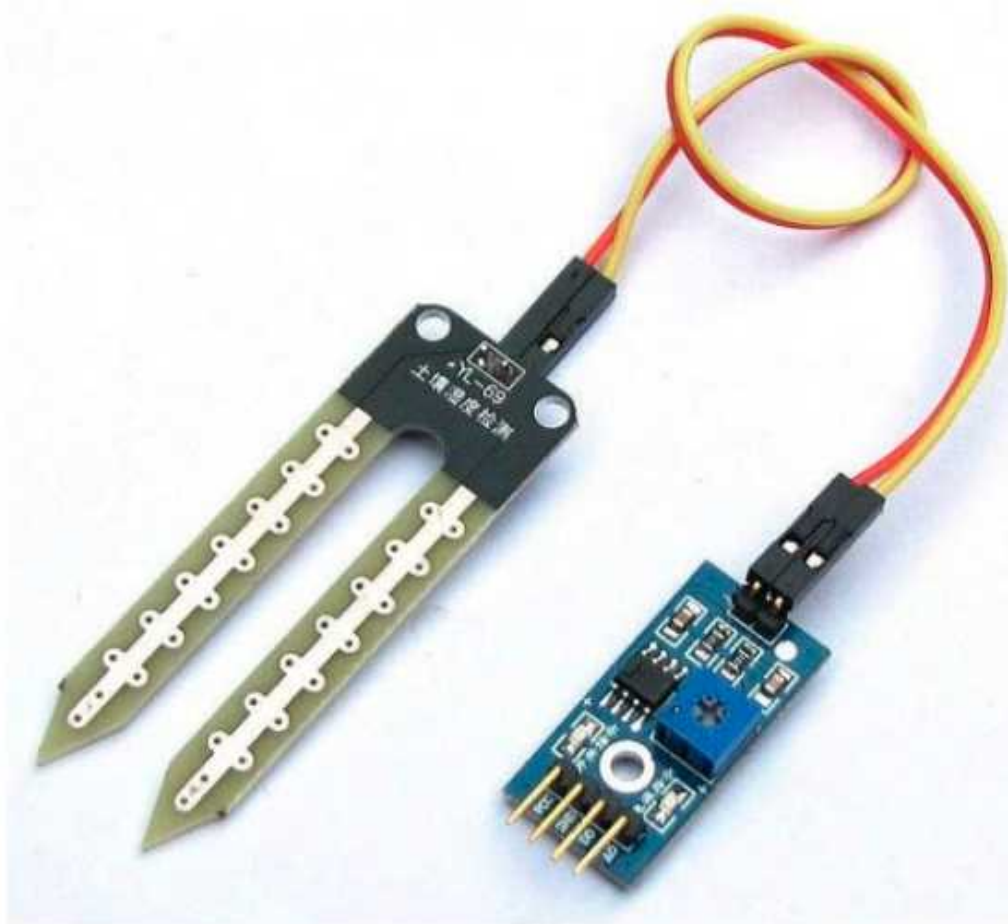


Figura 27: Sensor de Humedad YL-69 y Circuito de control YL-38

Fuente: <https://ssdielect.com/cb/arduino-y-compatibles-1/1321-fc-28-higrometro-yl69.html>

Con la adquisición del sensor incluye el circuito de control YL-38 (ver Figura 4.5 “detalles del circuito de control YL-38”).

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas del Sensor.

PARÁMETRO	CONDICIONES TÉCNICAS
Tensión de entrada	3.3 – 5 VDC
Tensión de Salida	0 – 4.2 V
Corriente	35 mA
Dimensiones YL-69	60 x 30 mm
Dimensiones YL-38	30 x 15 mm

4.2.2 Placa Arduino uno

La placa Arduino uno hace posible que se instale en su micro-controlador (Ver figura 4.6) el software desarrollado para la medición de humedad del suelo, donde intervienen los sensores YL-69 + YL-38. La placa Arduino Uno que está basada en un micro-controlador Atmega328. Posee 14 pines de entrada/salida digital (de estos 14 pines, 4 ofrecen la posibilidad de ser usados para salidas PWM), resonador cerámico de 16 MHz, seis entradas analógicas, un interruptor reset, conector para USB tipo hembra, entrada ICSP¹⁷ y Jack para entrada de energía[48].

¹⁷ ICSP por las siglas del inglés : “In-Circuit Serial Programming”, programación serial en circuito , capacidad que poseen ciertos micro controladores, dispositivos lógicos programables y circuitos electrónicos, para ser programados al estar implementados en un sistema completo, en lugar que el integrado sea programado antes de ser insertado dentro del sistema.

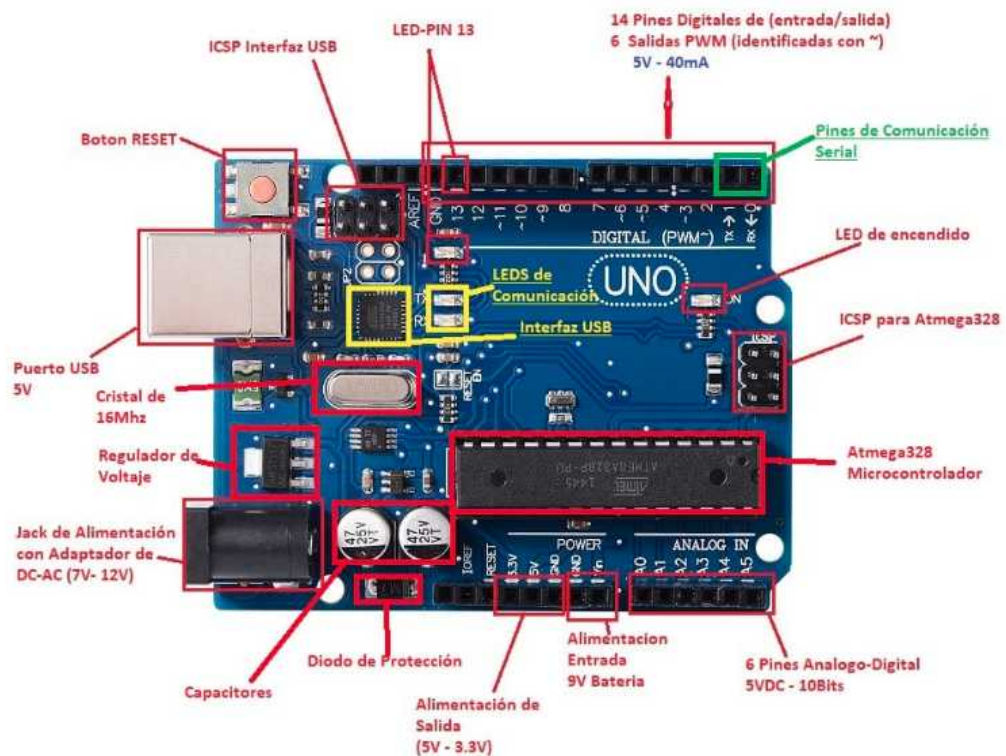


Figura 28: Detalles de la placa Arduino

Fuente: <https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/introduccion/>

Tabla 4.2: Especificaciones Técnicas del Arduino Uno.

PARÁMETRO	CONDICIONES TÉCNICAS
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje Operativo	5 V
Voltaje de Entrada recomendado	7-12 V
Voltaje de Entrada límite	6-20 V
Pines digitales E/S	14(de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua para pines	40 mA

E/S	
Corriente continua para pines E/S 3.3 V	50 mA
Memoria Flash	32 KB(ATmega328) de los cuales 0,5 KB son para el bootloader
Corriente continua para pines E/S 3.3 V	50 mA
SRAM	2 KB(ATmega328)
EEPROM	1 KB(ATmega328)
Velocidad del Reloj	16 MHz

4.2.2.1 Descripción de los componentes de la Placa Arduino Uno

En este apartado se hará una breve descripción de las funciones de los componentes de la placa Arduino, los que intervienen en la implementación del presente proyecto, en tal sentido y siguiendo a Magen, and J. L. Mauri [48] quienes describen las funciones que cumple cada parte del periférico:

4.2.2.2 Pines digitales de entrada y salida

En estos pines se hará la conexión de dato del sensor de humedad, desde los cuales se podrán leer los datos del sensor YL-69. Existen catorce pines digitales que dan la posibilidad de ser utilizados como salida o entrada con sus respectivas funciones `digitalRead()`, `digitalWrite()` y `pinMode()`. Trabajan a 5 voltios. Estos pines reciben como máximo 40mA y tienen una resistencia pull-up (viene desconectada) de 20-50 K Ohmios. Algunos de los pines están reservados para:

- **Serie:** 0(RX) y 1(TX). Utilizados para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie. Están directamente conectados a los pines serie del microcontrolador. Utilizando estos pines podremos conectarnos con otras placas.
- **Interrupciones externas:** 2 y 3. Estos pines pueden ser configurados para activar interrupciones.
- **PWM:** 3, 5, 6, 9, 10 y 11. Proporcionan una salida de 8 bits en modo PWM.
- **SPI:** 10-13. Estos pines soportan la librería de comunicación de dispositivos SPI.
- **LED:** 13. Este pin está conectado con un led de la placa. Cuando se le asigne un valor *HIGH* se encenderá, en cambio si lo dejamos en *LOW* estará apagado.

4.2.2.3 Conector USB

Hay diversos tipos de conectores USB, y específicamente en esta placa se usa el tipo B hembra (ver figura 29), implica que se precisaría de un cable tipo B macho – tipo A macho, el cual se debe conectar a un conector tipo A hembra (ejemplo un puerto USB de computadora o bien o al cargador de un teléfono). La placa tiene la posibilidad de alimentarse de 5 V de tensión que es proporcionado a través del bus serie USB. Así mismo al cargar el programa desarrollado a la placa desde el software de Arduino se inyectará el código de la computadora por este bus.



Figura 29: Conector USB tipo B hembra

Fuente: <https://teslabem.com/tienda/usb-socket-tipo-b-hembra-para-soldar-a-pcb/>

4.2.2.4 Botón Reset

Por medio de este botón es posible reiniciar la ejecución del programa en el microcontrolador. (Figura 4.6)

4.2.2.5 ICSP (In Circuit Serial Programming)

Como refiere jecrespom [49] El centro de cualquier placa Arduino está compuesto de un microcontrolador AVR; para la placa Arduino UNO, su microcontrolador es el ATmega328. Si por algún motivo el proyecto necesita ser más grande y complejo, podría ser necesario recurrir al uso de

otro microcontrolador, AVR separado lo que implica un menor costo que volver a adquirir otra placa Arduino. El inconveniente de comprar un nuevo microcontrolador AVR, de fábrica es que estará limpio (sin programación), esto implica que se tendrá que grabar por única vez el Bootloader (Gestor de arranque) y hacer funcionar los proyectos programados con el software de Arduino.

Con la entrada ICSP (In Circuit Serial Programming Ver Figura30) se tiene acceso a la memoria de programa del AVR (Flash), de este modo, es posible grabar directamente desde el ordenador al micro-controlador cualquier proyecto Arduino sin necesidad del uso del puerto USB. Por ejemplo, el Bootloader.

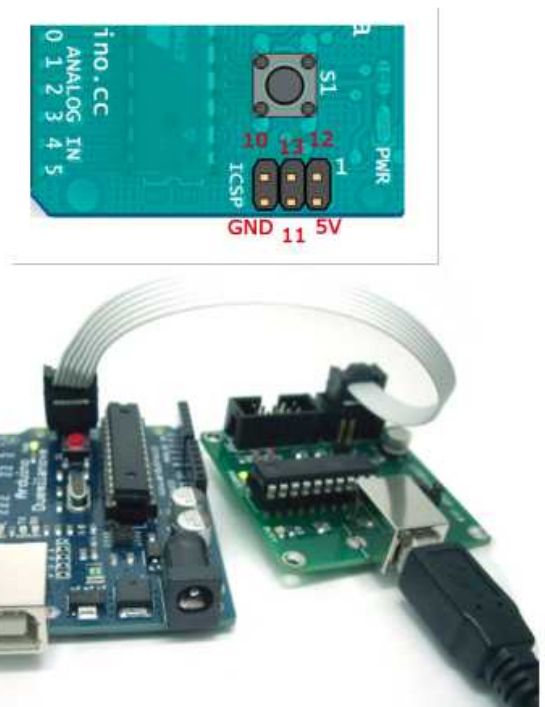


Figura 30: ICSP Programación Serial en Circuito.

Fuente: <https://www.vicolinker.net/que-es-el-icsp-arduino/>

4.2.2.6 Micro-controlador ATmega328

Como explican Magen, and J. L. Mauri [48] el microcontrolador es el componente vital de la placa. En él se cargará y ejecutará el programa a ser codificado. Fue creado por la empresa Atmel, opera con una tensión de 5 V, algunos expertos recomiendan entre 7 y 12 con un límite de 20 V.

Está compuesto por catorce patas digitales de entrada y salida (ver figura 31), posee 32 kB de memoria flash (de estos, 512 bytes son para el bootloader), seis patas analógicas que están encajados de forma directa a los pines de la placa Arduino (ver figura 28). En la memoria flash se cargará el programa a ejecutarse. El bootloader prepara el microcontrolador para que pueda ejecutarse el programa desarrollado. Posee además una memoria EEPROM de 1 kB el cual se puede leer o escribir mediante la librería EEPROM. Para el procesamiento tiene un reloj de 16 MHz y 2 kB de memoria RAM.

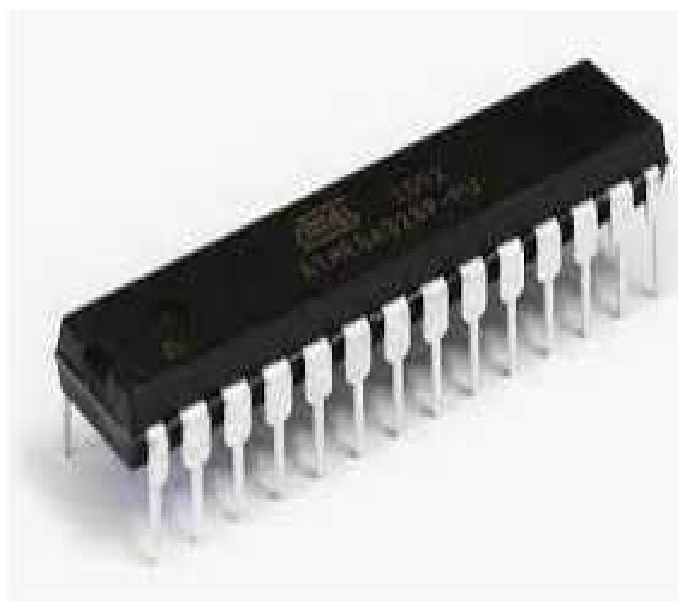


Figura 31: Microprocesador ATmega328

Fuente:

<https://www.electronicaplugandplay.com/sistemas-embebidos/product/306-atmega328p-pu-dip28>

4.2.2.7 Fuente de Alimentación Externa

Es posible también que la placa sea alimentada a través de corriente continua provista por el conector jack de 3.5 mm, puede recibir de 7 a 12V

4.2.2.8 Pin de Reset

Es posible hacer algo similar al pulsar el botón reset, dando un valor LOW(0V), para reiniciar el micro controlador

4.2.2.9 Pin de 3.3V

En este pin es posible la entrega de 3.3V a periféricos que lo necesiten con una carga de corriente máxima de 50 mA, esto se debe a un chip FTD incorporado en la placa

4.2.2.10 Pin de 5 V

Este pin toma una carga de 5 V del regulador situado en la misma placa

4.2.2.11 Pines analógicos

La placa Arduino Uno contiene seis pines de entrada analógicos. Los elementos que se conecten en estos pines tienen mejor resultado que los digitales sin embargo su uso demanda una lógica más compleja

4.2.3 Placa Módulo Ethernet Shield de Arduino Uno

Como cita L. S. Emilio [50] es una placa (ver figura 30) la cual se inserta sobre Arduino Uno (ver figura 28), haciendo posible la conexión a Internet a través del estándar Ethernet el cual usa TCP/IP. Donde ya es posible la conexión a un enrutador por medio del cable UTP, una vez establecida la conexión a la red, el enrutador le dará una dirección IP, por la cual es posible enlazar conexiones entre el servidor y la placa (de placa a placa), haciendo posible el envío de flujos de datos. Existen variedades de integrados donde cada uno usa sus propias librerías.

En el caso específico del presente Trabajo Final de Maestría se utilizó el chip w5100 que usa las librerías etherShield.h. Es primordial tener presente que el código de la configuración de la placa debe ser precisa (ver figura 33). Colocar la dirección IP que esté dentro del rango del router (DHCP); se debe asignar también una dirección MAC. También es posible abrir un puerto para escuchar peticiones; configuración que se realiza en la función setup(), en el inicio de la placa. La principal función que tiene esta placa es leer peticiones, para el presente trabajo es HTTP (puerto 80).



Figura 32: Placa Módulo Ethernet shield

Fuente: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ethernet-shield-arduino/>

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
parametro1
// DEMON JR //
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//-----
//Declaración de la direcciones MAC e IP. También del puerto 80
byte mac[]={0xDE,0xAD,0xBE,0xEF,0xFE,0xED}; //MAC
IPAddress ip(192,168,0,4); //IP (DIRECCION A LA QUE SE VA A ACCESAR DESDE EL BROWSER) DEBE ESTAR DENTRO DE TU RED
EthernetServer servidor(80); // SE DEFINE EL PUERTO
//-----
```

Figura 33: Parámetros de Configuración

4.2.3.1 Componentes y características elementales del Módulo Ethernet Shield

Come refiere [51], un módulo Ethernet Shield tiene igual ancho y largo que el Arduino Uno con el fin de acoplar los pines del Arduino con el del módulo Ethernet Shield, obteniendo un bloque o elemento, generalmente los módulos tienen conectores machos con patas alargadas (ver figura

4.10) para que se inserten con facilidad en los conectores hembras del Arduino; cabe describir algunas de las características principales del módulo Ethernet Shield (Ver figura 34):

- Funciona a 5V de energía, provisto por la placa de Arduino
- El chip controlador es el W5100 con 16 kB de buffer interno.
- El módulo se comunica con el microcontrolador por el bus SPI, en consecuencia se debe incluir la librería SPI.h que se puede encontrar en: <http://arduino.cc/en/Reference/SPI>
- Tiene capacidad para funcionar con 4 conexiones al mismo tiempo.
- También utiliza de la librería Ethernet para el control del Shield disponible en: <http://arduino.cc/en/Reference/Ethernet>
- El módulo tiene un lector de tarjetas micro-SD que hace posible el guardado de archivos y acceder a estos desde la red, para esto sería necesario la librería SD disponible en: <http://arduino.cc/en/Reference/SD>
- Si se utiliza la tarjeta SD, el pin 4 es utilizado como SS.

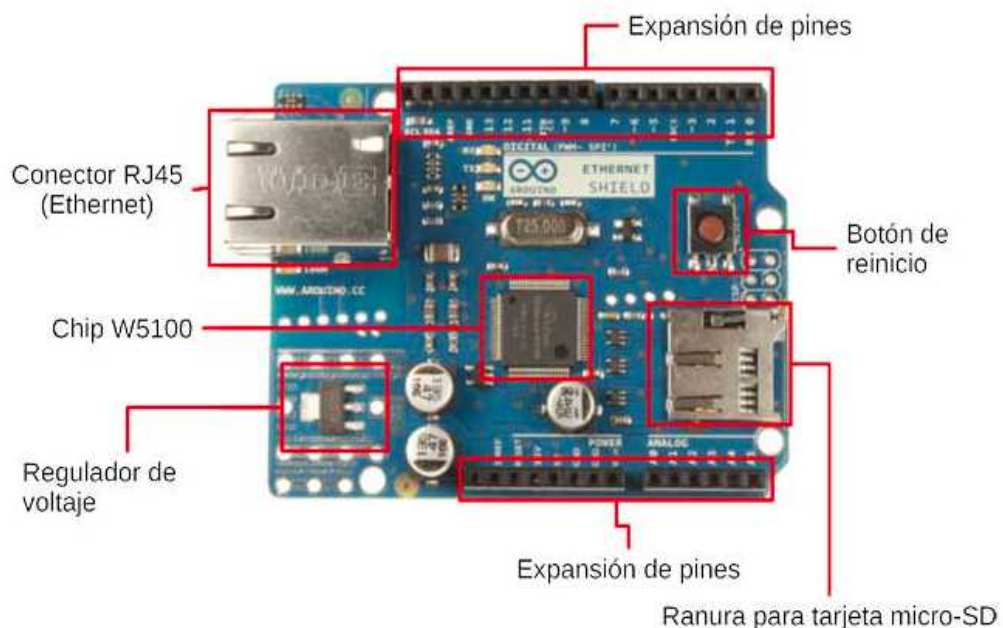


Figura 34: Componentes del módulo Ethernet Shield

Fuente: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ethernet-shield-arduino/>

4.2.4 Enrutador TP-Link TL-WR841N

Para la implementación de del presente proyecto es necesario contar con la intervención de un enrutador convencional(ver figura 4.14) en la red LAN que se ajustó a la configuración como refiere [52], en la tabla 4.3 donde se especifica las características necesarias que debe tener el enrutador para la implementación del presente trabajo de investigación.

Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del Enrutador.

PARÁMETRO	
	<ul style="list-style-type: none"> • CONDICIONES TÉCNICAS
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • 4 puertos LAN 10/100 mbps • 1 puerto WAN 10/100 mbps
Botones	<ul style="list-style-type: none"> • Botón Inalámbrico Apagado/Encendido • Botón Reset/WPS/ • Botón de Apagado/Encendido
Fuente de Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • 0.6A/9VCD
Dimensiones(WX DXH)	<ul style="list-style-type: none"> • 192 x 134 x 33 mm
Dimensiones YL-38	<ul style="list-style-type: none"> • 30 x 15 mm



Figura 35: Enrutador TP-Link TL-WR41N

Fuente: <https://mcgrp.ru/manual/tp-link/tl-wr841n>

4.2.5 Placa Circuito de Pruebas Protoboard Arduino de 830 puntos

Para los procedimientos de prueba de funcionalidad en la instalación y puesta a punto del dispositivo de medición es necesario contar con una placa Circuito de Pruebas protoboard de

Arduino (ver figura 36), lo cual hace posible la conectividad de los diferentes sensores de electrodos como también el sensor de temperatura ambiente. Como refieren C. Paper and I. S. Rincon [53] y B. Marchena and E. Yessenia [54] para el armado de la parte electrónica se conecta todo en un protoboard, lo que hace posible la corrección de errores antes de la construcción del dispositivo. El Protoboard 830 hace posible la prueba de circuitos sin la necesidad de construir uno. Cuenta con 4 líneas para conducción de energía, un total de 63 columnas y 10 filas haciendo posible contar con 830 puntos de conexión. Los pines se encuentran separados por un estándar de 0,1". Los grupos de cinco filas se separan por unos 0,3 milímetros.

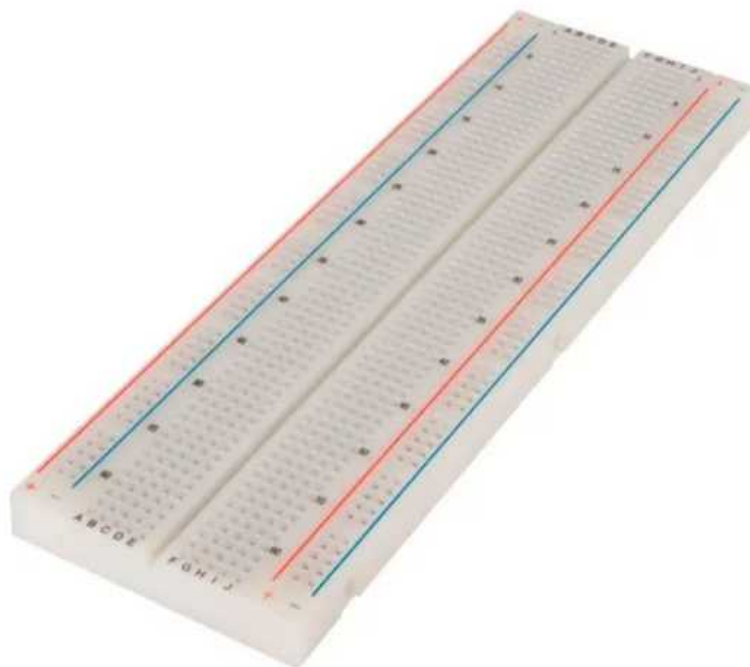


Figura 36: Placa Circuito de Pruebas Protoboard Arduino

Fuente: <https://www.pinterest.es/pin/396739048425314765/>

4.2.6 Cables dupont para protoboard Macho Macho

Por medio de los cables dupont (ver Figura 37) para protoboard macho-macho se hizo posible la conectividad de los diferentes periféricos en el proceso de prueba en la construcción del dispositivo de medición de humedad y temperatura. Como explica [54] se debe conectar los

periféricos que se quieren probar, vienen en grupos de 20 cables, los cuales se pueden dividir para crear "buses" más pequeños.

4.2.7 Sensor de temperatura y humedad ambiente DT11

En el presente proyecto se tiene en cuenta como posible parámetro de incidencia la temperatura ambiente que se utiliza el sensor DTH11 (Figura 38) como refiere [55] es un dispositivo digital que mide la temperatura y humedad, tiene por dentro un termistor que hace posible la medición del aire circundante y un sensor capacitivo de humedad, se pueden ver los datos gracias a una señal digital en el pin de datos. El sensor tiene la señal digital calibrada, dando una alta precisión, siendo los datos fiables. Posee la capacidad de medir la humedad en el intervalo del 20% a los 90%, mientras que la temperatura mide en el rango de 0 °C a 50 °C.



Figura 37: Cables dupont para protoboard Macho Macho

Fuente: https://www.chuduf.com/index.php?main_page=product_info&products_id=347775

Tabla 4.4: Especificaciones técnicas del Sensor DTH11.

PARÁMETRO	CONDICIONES TÉCNICAS
Tensión de alimentación	3-5,5 VDC
Señal de salida	Señal digital por bus simple
Elemento de Sensado	Resistencia de Polímero
Rango de Medición	Humedad 20-90% Temperatura 0-50 Celsius
Precisión	Humedad +- 4%RH(max +-5%RH) Temperatura +- 2,0 Celsius
Sensibilidad	Humedad 1%RH Temperatura 0,1 Celsius
Repetibilidad	Humedad +- %RH Temperatura +-
Humedad histéresis	+ -1%RH
Estabilidad a largo plazo	+ -0,5%RH/año
Periodo de sensado	2s
Intercambiabilidad	Completo
Dimensiones	12*15,5*5,5mm

Fuente: [54]

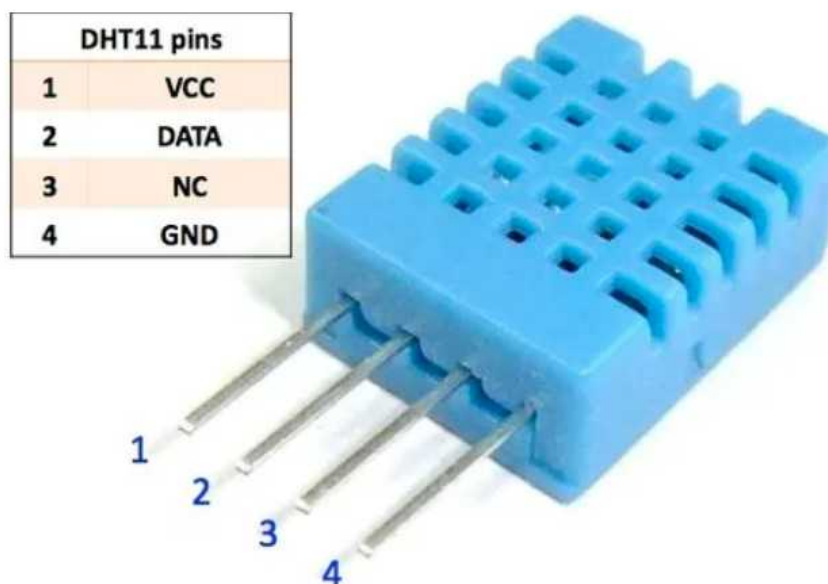


Figura 38: Sensor de temperatura y humedad ambiente DT11

Fuente: <https://www.monarcaelectronica.com.ar/productos/sensor-humedad-relativa-y-temperatura-dht11-arduino-mona/>

4.3 Montaje inicial del dispositivo para pruebas sobre el protoboard

Habiendo visto todos los periféricos a ser utilizado para el montaje del dispositivo en el punto 4.2 (Materiales de Soporte), es necesaria ensamblar los mismos para poder hacer funcionar el medidor de humedad de suelo, temperatura ambiente y humedad ambiente, posterior cargado del programa en el microcontrolador del Arduino Uno. Las características técnicas y detalles de funcionalidad de los periféricos definidas en el punto 4.2 de este capítulo. En la siguiente tabla se detalla todos los materiales necesarios para el presente proyecto.

Tabla 4.5: Materiales y dispositivos necesarios

Cantidad	Descripción
1	• Ordenador
1	• Arduino Uno
1	• Módulo Ethernet Shield Arduino Uno
2	• Tramos de Cables UTP con conector RJ 45
22	• Cables Dupont
1	• Sensor de temperatura y humedad ambiente
4	• Sensor de Humedad YL-69 + YL-38
1	Placa Circuito de Pruebas Protoboard
1	• Cables Usb 2.0 Mallado tipo A B(macho), de longitud: 1mt
1	• Cables Usb 2.0 Mallado tipo A A(macho-hembra), de longitud: 2 mts

4.3.1 Ensamblado del Arduino Uno con el modulo Ethernet Shield

Como refiere [56] Ethernet Shield se puede conectar al Arduino Uno (ver figura 39), luego a una red por medio de un cable UTP con sus conectores RJ45. Lo que hace posible que Arduino se conecte a internet o a una red local de modo muy simple. En el Arduino Uno se usa el bus SPI para establecer el enlace de comunicación con el Shield. Este bus equivale a los pines digitales 13, 12 y 11 en Arduino Uno. El pin digital 10 es empleado como SS para el chip Ethernet y el pin digital 4 es utilizado como SS para la tarjeta micro-SD. El procedimiento del montaje se realiza conectando el

Ethernet Shield sobre el Arduino. Teniendo presente que es un Shield Ethernet, sencillamente es hacer que los conectores coincidan del módulo Ethernet con los del Arduino.



*Figura 39: Conexión Ethernet Shield al Arduino Uno
fuente: <https://acortar.link/ceHOIj>*

4.3.2 Ensamblado de todos los periféricos

La figura 4.19 (diagrama de bloques) es el resumen del funcionamiento e intervención en su conjunto de todos los dispositivos necesarios para la obtención de información del suelo en su estado húmedo o seco para procesos de investigación en el Instituto de Materiales de Misiones del Centro Científico Tecnológico CONICET.

Consiste en la conexión de cuatro sensores de humedad en suelo YL-69, un sensor de temperatura y humedad ambiente DTH11 (ver figura 38), el micro-controlador Atmega328 (ver figura 31) montado en la placa Arduino Uno, el cual es programado desde un ordenador personal, la fuente de alimentación eléctrica, una placa Ethernet Shield (Ver figura 4.13) el cual se conecta con el micro-controlador Atmega328 por medio de la placa Arduino Uno.

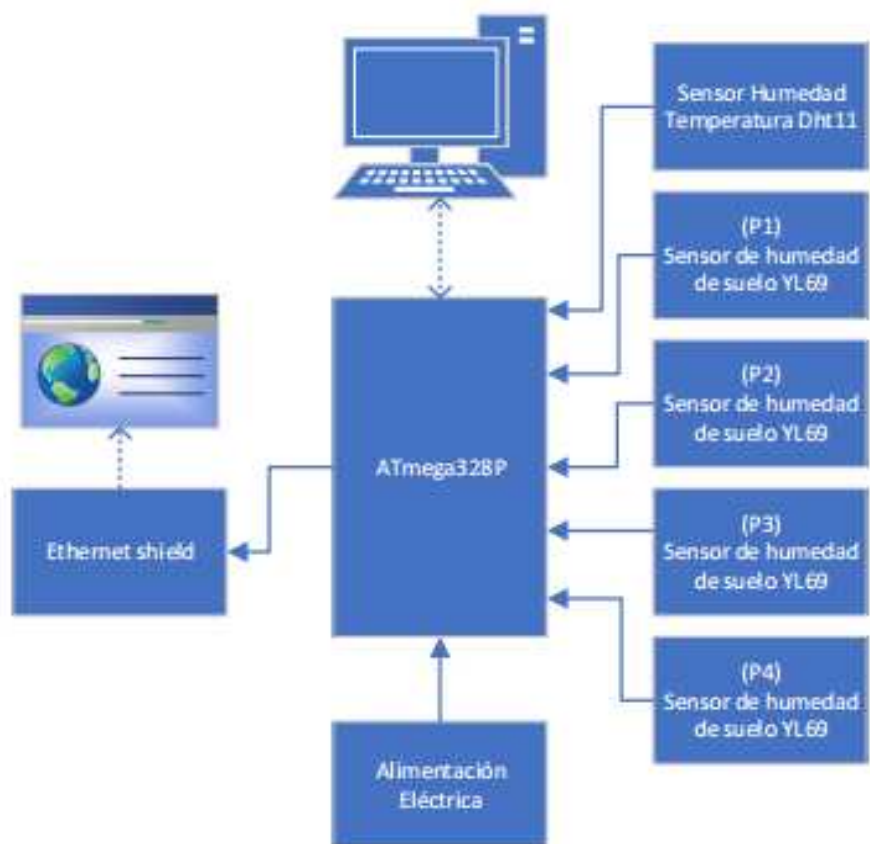


Figura 40: Diagrama de Bloques

Mediante el conector RJ45 (representado en el diagrama de bloque por la conexión a internet), se obtienen los datos provenientes del exterior. Se observa también por medio de la figura 41 el circuito esquemático del dispositivo. En la figura 40 (diagrama de bloques) se observan todos los periféricos conectados que hacen posible al mecanismo de obtención de la información desde el exterior.

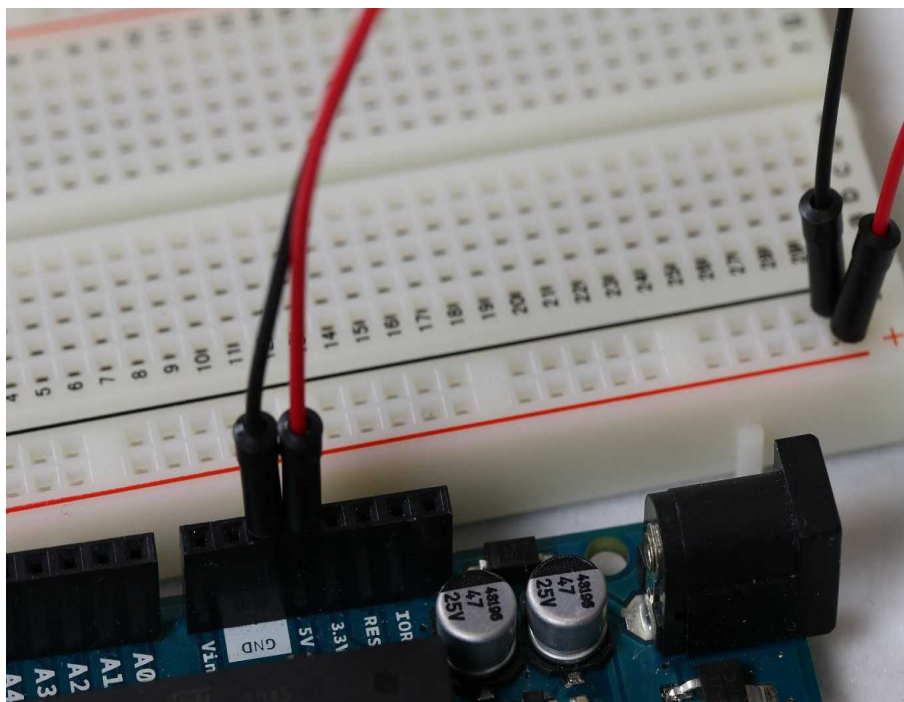


Figura 42: Conexión de 5V y GND

Fuente: <https://soloarduino.blogspot.com/2016/04/mb102-alimentacion-para-breadboards.html>



Figura 43: Conexión del componente YL-38

4.4 Software, Tecnologías y Métodos

En este apartado se describe toda la tecnología y metodología que hace posible al funcionamiento de los periféricos, gracias a los entornos de desarrollo, lenguajes de programación, herramientas de diseño y software de uso específico. La explicación, los algoritmos, metodología y técnicas de trabajo para el funcionamiento del dispositivo de medición de temperatura ambiente, humedad de suelo y ambiente.

4.4.1 Arquitectura software de la solución

En este trabajo se propone un desarrollo de una infraestructura basada en una sistema web utilizando CSS, HTML y PHP.

Se propone un backend basado en PHP.... (figura).

El frontend utiliza PHP, HTML, y CSS (figura).

Tabla 4.6: Software utilizado

Software	Funcionalidad
Navegador Web	- Permite observar los valores de los diferentes sensores
PhpStorm	-Entorno de desarrollo integrado, soporta múltiples plataformas de desarrollo (php, html, hojas de estilo, Java Script, Python, C++, Lenguaje SQL)
Arduino IDE	-Módulo Ethernet Shield Arduino Uno
PHP	-Lengua de programación para desarrollo de páginas
HTML	-Permite visualizar los datos provenientes de los sensores
Motor de Base de datos MySQL	-Permite almacenar la información de manera sistemática y estructurada.
Hojas de Estilo	-Proporciona un formato estético a la página web
Hojas de Cálculo	-Hace posible el procesamiento de la información con fines varios
Gráficos para desarrollo de google	-Permite mostrar la variación de la humedad del suelo en el tiempo
Java Script	-Brinda funciones específicas de funcionalidad a las páginas web
Visio	-Permite el diseño de Diagrama en bloque
Proteus 8 Profesional	-Diseño del esquema electrónico
Servidor WEB APACHE	-Permite la ejecución e integración de todas las tecnologías intervinientes para la implementación del producto con la placa Arduino

4.4.2 Programación en el Arduino Uno

Como citado en [10] el Arduino Uno se basa en un sistema micro-controlador mono-placa (hardware libre) de fácil implementación y costo económico. En sus comienzos fue su objetivo, hacer fácil el uso de la electrónica para diseños artísticos e interactivos por individuos con poca o

ninguna experiencia en la temática. En la actualidad existen más de 20 plataformas Arduino con diferentes características y funciones, cantidad de entradas/salidas, microcontrolador, etc, guardando compatibilidad entre estas. Los microcontroladores más usados en la plataforma son los de la familia AVR de ATMEL (Visto en la sección 3.4 del presente trabajo), existen otras plataformas utilizando otros microcontroladores, como ser Cortex M3 de ARM, con 32 bits. Para el uso amigable y fácil de estos microcontroladores se implementó de manera conjunta el entorno de desarrollo integrado de Arduino (IDE Arduino), en este se utiliza el lenguaje de programación C++. El IDE hace posible la edición y compilación para luego cargar el programa al micro-controlador (plataforma Arduino) con el que se esté trabajando, también permite la comunicación vía serie y exhibir información proveniente de la plataforma en una ventana terminal. Los micro-controladores se comunican con el IDE a través de un programa cargador (bootloader), ya cargado en el microcontrolador de la plataforma Arduino.

EL IDE de Arduino (ver figura 44) es un programa de libre acceso. Se puede descargar del sitio web oficial.

Arduino se suele utilizar para el desarrollo de objetos interactivos que funcionan de manera independiente sin la necesidad de ser asistida por un ordenador, también es posible conectarse con otros programas que se ejecutan en la computadora, como por ejemplo Flash, MatLab, Max/MSP, LabView Processing etc.

4.4.3 Captura de los datos sensados

Tal como refiere [56] en el presente trabajo de investigación la fuente de la información proveniente de los sensores que es por medio del Arduino conectado a la placa Ethernet Shield. Pero en lugar de tener una base de datos se usan los periféricos YL-69 y DTH11 para obtener la temperatura ambiente, humedad en suelo y ambiente.

Para el presente trabajo el investigador ve esa información por medio del navegador web de cualquier dispositivo, también con la función de algún lenguaje de programación, por ejemplo php que esté conectado a la red local. Como se observa en la Figura 46 pueden verse los datos desde un navegador web proveniente de los sensores en conjunto con la cadena de texto “//fausto”, sumado a los valores de estos sensores (YL-69 y DTH11), los cuales están separados por el carácter “;” para cada valor. Vale decir que se tiene una cadena completa con una longitud variable que contiene

```

void setup()
{
  Ethernet.begin(mac, ip); // SE INICIA LA CONEXION ETHERNET , SE INVOCA LA MAC Y LA IP
  servidor.begin();       // SE INICIA EL PUERTO
  dht.begin();            // SE INICIA EL SENSOR DTH11
}

void loop()
{
  EthernetClient cliente = servidor.available(); // SE DEFINE EL CLIENTE (DISPONIBILIDAD DE SERVIDOR)
  if(cliente.available()) // SI EL CLIENTE TIENE PETICIONES REPRODUCE EL SIGUIENTE CODIGO
  {
    int h = dht.readHumidity(); //SE LEE LA HUMEDAD RECIBIDA POR EL SENSOR
    int t = dht.readTemperature(); //SE LEE LA TEMPERATURA RECIBIDA POR EL SENSOR
    cliente.println("HTTP/1.1 200 OK");
    cliente.println("Content-Type: text/html");
    cliente.println("Connection: close");
    cliente.println("Refresh: 5");
    cliente.println();
    cliente.print("<!DOCTYPE html>"); //SE MANDA A IMPRESION EL CODIGO HTML
    cliente.print("<html lang='es'>");
    cliente.println("<head>");
    cliente.println("<title>.Indicador del Sensor de temperatura en Tiempo Real:. </title>");
    cliente.println("<meta charset='utf-8'>");
    cliente.println("</head>");
    cliente.println("<body >");
    cliente.print("//fausto ");
    cliente.print(analogRead(0));
    cliente.print(";");
    cliente.print(h); // SE IMPRIME LA HUMEDAD RECIBIDA EN LA VARIABLE H
    cliente.print(";");
    cliente.print(analogRead(1));
    cliente.print(";");
    cliente.print(t); // SE IMPRIME LA TEMPERATURA RECIBIDA EN LA VARIABLE T
    cliente.print(";");
    cliente.print(analogRead(2));
    cliente.print(";");
    cliente.print(analogRead(3));
    cliente.println("</body>");
    cliente.println("</html>"); // SE CIERRA EL CODIGO HTML
    cliente.stop(); // SE CIERRA LA IMPRESION DE DATOS EN EL CLIENTE
    delay(3000); // TIEMPO DE ESPERA PARA QUE SE ACTUALICE LA PAGINA
  }
}

```

Figura 45: Funciones Loop y Setup

valores de los sensores, es en base a esta cadena que se realiza todo la implementación del presente trabajo de investigación.

Utilización de gráficos

Como refieren [62],[63] y [64] todo trabajo que tenga que ver con con las representaciones gráficas de la información y en especial en este trabajo de investigación de los sensores de humedad en suelo, lo cual resulta muy útil en la aplicación web, debido a que hace posible a los usuarios ver la información de una manera más simple y agradable a la vista. Para el presente trabajo de investigación en la integración gráfica se cuenta con el API de Google Charts. Luego de implementar los sensores en el desarrollo del producto, se observó la presentación gráfica de los datos respecto del tiempo expresados en minutos para posterior análisis y estudio.

El gráfico respecto del tiempo consisten en una representación de las medidas realizadas por los sensores en función del tiempo transcurrido desde que el agua toma contacto con el suelo, para medir su transporte en el suelo de modo tal que los usuarios puedan observar el comportamiento de uno o varios tipos de suelo respecto del agua. Para la creación de este tipo de gráfico histórico se ha usado la visualización interactiva del API de Google Charts (gráfico de línea).

En la Figura 47 podemos ver la parte de la aplicación de visualización correspondiente a los gráficos de línea respecto del tiempo.



Figura 46: Datos vistos en un navegador web provenientes de los sensores

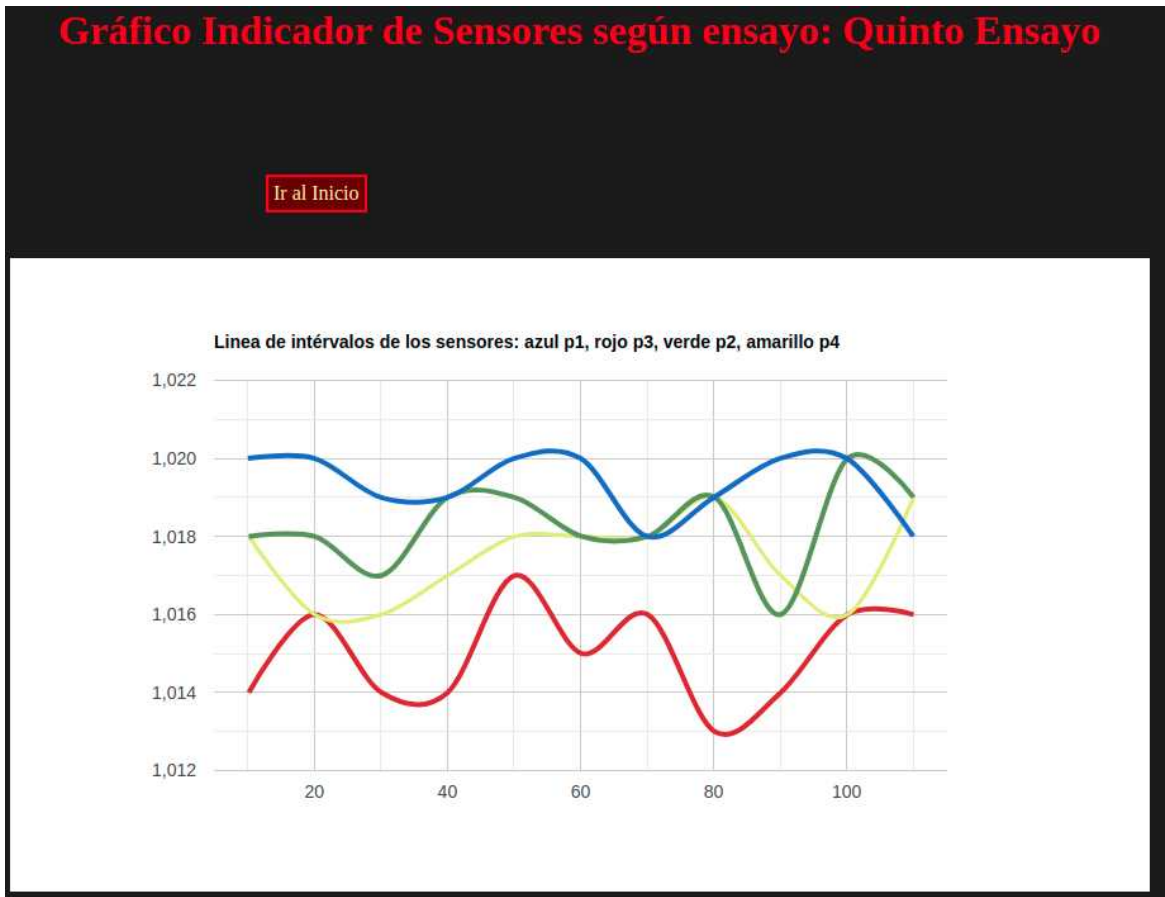


Figura 47: Gráfico de las señales de los sensores en el tiempo

4.4.4 Licencia de productos software

Todo el material y producto software utilizado para el desarrollo e implementación del presente producto, resultado del presente trabajo de investigación, descrito en la Tabla 4.5 en el presente capítulo a excepción de PHPStorm que cuenta con una licencia para Docente/Estudiante; son de distribución libre y gratuita.

CAPÍTULO 5

Resultados y discusión

5.1 Introducción

En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos y la discusión en el proceso de calibración del dispositivo desarrollado. Como se muestra en la figura 48 el conjunto completo de dispositivos tecnológicos y materiales necesarios para la calibración del dispositivo.

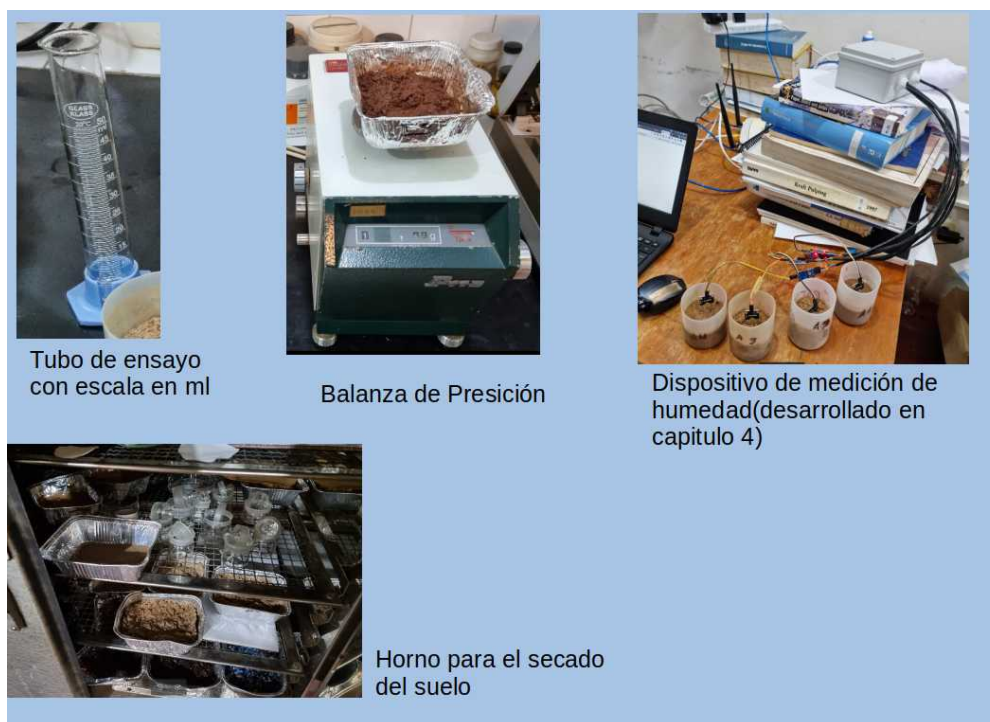


Figura 48: Conjunto completo de dispositivos tecnológicos y materiales utilizados

El capítulo está dividido en tres partes: las Partes I y II corresponden al proceso de calibración de los sensores de manera individual en perfiles de suelo como arena y tierra; en tanto que la Parte III trata sobre el experimento en laboratorio con el dispositivo ya calibrado.

Los resultados de los escenarios a ser analizados presentarán informes de valores de los sensores en diferentes condiciones de suelo, seguidos del análisis de factibilidad, implementación y uso del mismo en mediciones.

5.2 Parte I Proceso de calibración de los sensores

Como bien se describe en el CAPÍTULO 3 sección 3.2.1 del presente trabajo de investigación el método mejor probado para medir la humedad en suelo es el gravimétrico, en tal sentido se hace referencia a [35] para llevar a cabo las experiencias del sensado de humedad en diferentes tipos de suelo y perfiles.

En primer lugar se tomó como parámetro inicial los valores indicados en los sensores sometidos al agua de red domiciliaria, como refiere [65], este soluble posee cierta conductividad eléctrica según composición química (minerales y otras sustancias). Para comprobar tal afirmación se procedió a someter a los sensores en agua extraída de la red domiciliaria por un lado (ver Figura 49), y por otro lado se hizo lo propio con agua destilada¹⁹. En la tabla 5.1 se observan los diferentes resultados obtenidos de los sensores donde cada sensor posee un número que lo identifica (ver figura 50).

Tabla 5.1: Medición con los sensores en agua destilada y agua de red domiciliaria

Nro Sensor	Valor en seco	100% agua destilada	100% de red domiciliaria
1	1023	975	606
2	1023	960	670
3	1023	312	95
4	850	800	330

Como refiere [48] los valores en los sensores YL69 varían entre 0 y 1023, donde 1023 o el máximo valor devuelto por el sensor indica la ausencia de conductividad eléctrica. Por el contrario a medida que disminuye el umbral máximo (1023) del sensor, aumenta la humedad por el transporte eléctrico de compuestos químicos conductivos presentes en el suelo o agua.

¹⁹ La composición del agua destilada consta de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, su molécula se representa químicamente por la fórmula H₂O. Se dice que este compuesto líquido es sometido a un proceso de destilación en el que se han eliminado las impurezas e iones del agua de origen, lo que lo hace menos conductiva eléctricamente.



Figura 49: Sensores en agua de red y agua destilada.

Observando los valores de la tabla 5.1 luego de haber sometido a cada sensor a las mismas condiciones de conductividad, observamos valores dispares a una escala muy pronunciada, de lo que se podría estimar, siguiendo a [4]; en tal sentido, que los sensores pueden presentar diferentes umbrales según partidas de fabricación (0-1023 como umbrales mínimos y máximos). Considerando estos factores, tales valores habrán de ser sometidos a pruebas rigurosas, pudiendo determinarse que sus curvas se ajustan a un error ponderable acorde a los valores arrojados por el método gravimétrico.



Figura 50: Sensores con sus marcadores numéricos

5.2.1 Calibración de sensores de humedad en perfil de arena

Como afirma [67], el método gravimétrico para determinar el porcentaje de humedad en suelo es el que presenta mayor confiabilidad, por lo que en el presente trabajo de investigación se usa para calibrar los sensores de humedad del dispositivo construido, procediendo de la siguiente manera:

a) Por medio de una balanza de precisión (Figura 51), se toma la tara de un recipiente vacío (Figura 5.5).

b) Se coloca la arena seca proveniente del horno (Figura 5.6) en el recipiente ya pesado. Luego se insertan los sensores (Figura 5.7), según n° y recipiente, y se van registrando estos valores en una tabla (Tabla 5.2) de manera sistemática.

c) Se repiten los procesos a y b, para los cuatro sensores con los recipientes, que son marcados según el n° de recipiente.

d) Se registran los valores iniciales de los sensores en los recipientes con la arena seca determinando en todos los casos conductividad 0 para cada sensor. Se registran esos valores en la tabla 5.2.

e) Se insertan los sensores en los recipientes con arena húmeda, se registran los valores obtenidos por cada sensor en la tabla.

f) Se somete a alta temperatura en el horno a los recipientes con arena (ver Figura 52) con el objetivo de eliminar todo el agua existente en la arena (humedad). Transcurrido un tiempo considerable de 6 horas, se retiran los recipientes con arena del horno.

h) Se vuelve a pesar la arena seca y se registran estos valores en tabla 5.2 (cada sensor con su recipiente).



Figura 51: Balanza de Precisión

Se pretende con el siguiente método realizar 4 ciclos completos con los ítems a-h ya descritos para obtener 4 puntos distantes por cada sensor. Esto, a su vez, permitirá obtener una curva de calibración a la que luego se le aplicará una fórmula matemática para, finalmente, obtener el porcentaje de humedad de modo más directo y sistemático que el método gravimétrico.



Figura 52: Eliminación de la humedad en la arena por medio del secado al horno

Tabla 5.2: Método gravimétrico para determinar la humedad (arena) punto 1

Recipiente	Tara	Carga+ Tara	Sensor En seco	Carga ara Agua	Sensor en Arena + Tara + Agua	Arena Húmeda	Agua	Arena Seca	% de base húmeda	% de base seca	punto
A1-S1	4,85	299,41	1021	307,5	1000	302,63	9,84	292,79	3,25	3,36	1
A2-S2	4,87	261,67	1023	281,42	995	276,57	9,27	267,3	3,35	3,47	
A3-S3	5,09	309,86	1022	332,02	990	326,93	22,8	304,1	6,98	7,51	
A4-S4	4,99	310,43	850	331,63	600	326,64	21,6	305	6,62	7,09	

Descripción encabezado tabla 5.2

- **Recipiente:** Es la notación que se utiliza para denotar al conjunto del recipiente más el sensor de humedad YL69.
- **Tara:** Peso del recipiente.
- **Carga + Tara:** Es el valor obtenido al pesar al recipiente con la arena.
- **Sensor En seco:** Valor obtenido del sensor expuesto en arena/tierra seca.
- **Carga Tara Agua:** Es el valor obtenido al pesar el recipiente con la arena/tierra y agua.

- **Sensor en arena + tara + agua:** Valor obtenido por el sensor luego de introducirlo en la arena con agua.
- **Arena Húmeda:** Es el resultado de hacer la diferencia entre lo cargado con agua menos la tara antes de introducir el recipiente con arena al horno.
- **Agua:** Es el resultado de hacer la diferencia entre la arena húmeda y seca.
- **Arena Seca:** Es el valor obtenido (peso del recipiente y contenido “arena”) luego de sacar del horno (de 6 horas o mas) menos la tara.
- **% base húmeda:** Es la fórmula que indica el porcentaje de humedad en suelo a partir del agua encontrada en el mismo (método gravimétrico), dividido por la cantidad de agua existente en el suelo, sumado a la arena seca y multiplicada por 100.
- **% base seca:** Es la fórmula que indica el porcentaje de humedad en suelo a partir del agua encontrada en el mismo (método gravimétrico), dividido la cantidad de arena seca multiplicada por 100.

5.2.2 Calibración de sensores de humedad en perfil de tierra

Habiendo realizado los ensayos indicados en la tabla 5.2, con los valores obtenidos y aplicando el método gravimétrico, se obtiene una primera impresión de los valores donde importa el comportamiento de los sensores. Aquí se puede observar que el sensor n° 4 presenta un número muy irregular del resto de los sensores. No obstante ello, se puede considerar que esta variación es debido a que al realizar las pruebas con el agua destilada y agua de red, se observó que su umbral máximo es 850, por lo que se puede continuar con el proceso de calibración, cotejando sus próximos valores con los umbrales debidos, y pudiéndose, así, determinar una curva de calibración ajustable a errores. En la tabla 5.3 se observa el mismo ensayo, pero con la tierra como perfil de suelo.

Tabla 5.3: Método gravimétrico para determinar la humedad (tierra punto 1)

Recipiente	Tara	Carga + Tara	Sensor En seco	Carga Tara Agua	Sensor en Tierra + Tara + Agua	Tierra Húmeda	Agua	Tierra Seca	% de base húmeda	% de base seca	punto
T1-S1	4,9	151,6	1019	180,78	1010	175,88	29,18	146,7	16,59	19,89	1
T2-S2	4,97	128,89	1023	159,28	970	154,31	30,39	123,92	19,69	24,52	
T3-S3	4,97	120,19	1021	146,81	500	141,84	26,62	115,22	18,77	23,10	
T4-S4	4,93	146,85	850	177,47	550	172,54	30,62	141,92	17,15	21,58	

Habiendo realizado los ensayos indicados en la tabla 5.3 para el perfil del suelo tierra, se observa que el comportamiento respecto de los sensores es muy diferentes al registrado en los ensayos realizados en la tabla 5.2 con perfil de arena. Es por ello que no se puede emitir juicio alguno sobre los valores arrojados por los sensores debido al perfil de suelo. No obstante, a simple vista, los valores parecen muy incongruentes. Por consiguiente, se vuelve a realizar otro ensayo (tabla 5.4 punto 2) con el mismo perfil de suelo (tierra), para tener mejor argumentación respecto de los valores arrojados.

Tabla 5.4: Método gravimétrico para determinar la humedad (tierra punto 2)

Recipiente	Tara	Carga + Tara	Sensor En seco	Carga Tara Agua	Sensor en Arena + tara + Agua	Tierra Húmeda	Agua	Tierra Seca	% de base húmeda	% de base seca	punto
T1-S1	4,9	151,88	1019	190,75	973	185,85	38,87	146,98	20,91	26,45	2
T2-S2	4,97	129,13	1023	172,34	806	167,37	43,21	124,16	25,82	34,80	
T3-S3	4,97	120,28	1021	185,04	21	180,07	64,76	115,2	35,96	56,16	
T4-S4	4,93	147,13	850	223,53	264	218,6	76,4	142,2	34,95	53,73	

Como se observa en tabla 5.4 en la mayoría de los valores se respeta cierta homogeneidad en cuanto a los resultados, no obstante el valor de sensor S3 se observa una distancia importante frente a un valor regular como es de esperarse, por consiguiente se lo ha examinado detenidamente en cada detalle del conjunto YL69-YL38 buscando algún desperfecto en el potenciómetro (visto en detalle en capítulo anterior) o bien las condiciones físicas del sensor

Habiendo examinado detenidamente las condiciones del conjunto YL69-YL38, se procedió a un nuevo ensayo (punto 3), habiendo ajustado el potenciómetro y aislado un sector de la sonda conductora.

Como se observa en la tabla 5.5, los valores del recipiente, tara, carga + tara, sensor en seco, son valores uniformes debido a que ni los recipientes ni sus contenidos se cambian (ver figura 53) y los sensores son expuestos a las mismas condiciones.

Tabla 5.5: Método gravimétrico para determinar la humedad (tierra punto 3)

Recipiente	Tara	Carga + Tara	Sensor En seco	Carga Tara Agua	Sensor en Arena + Tara + Agua	Tierra Húmeda	Agua	Tierra Seca	% de base húmeda	% de base seca	punto
T1-S1	4,9	151,88	1019	191,72	926	186,82	40,5	146,32	21,68	27,68	3
T2-S2	4,97	129,13	1023	172,6	680	167,63	43,95	123,32	26,22	35,54	
T3-S3	4,97	120,28	1021	185	121	180,03	65	115,03	36,11	56,51	
T4-S4	4,93	147,13	850	245	280	240	98,52	141,55	41,04	69,60	

Haciendo una revisión de los valores obtenidos por el ensayo en la tabla 5.5, el sensor 4 no condice con el sensor 3 a simple vista, con una curva razonable para su calibración, dando cuenta de su irregularidad en el funcionamiento. Teniendo presente a [68], [69] y [70] quienes han referenciado al uso del dispositivo y no han argumentado inconsistencia se estimó probar con la adquisición de nuevos sensores pertenecientes todos a las misma partida de elaboración (ver figura 54), buscando, de ese modo, mayor uniformidad en los valores devueltos para su posterior calibración.



Figura 53: Caja estanco y recipientes con sus respectivos sensores

gravimétrico los títulos en los encabezado de las tablas en proceso de cálculo para los diferentes ítems .

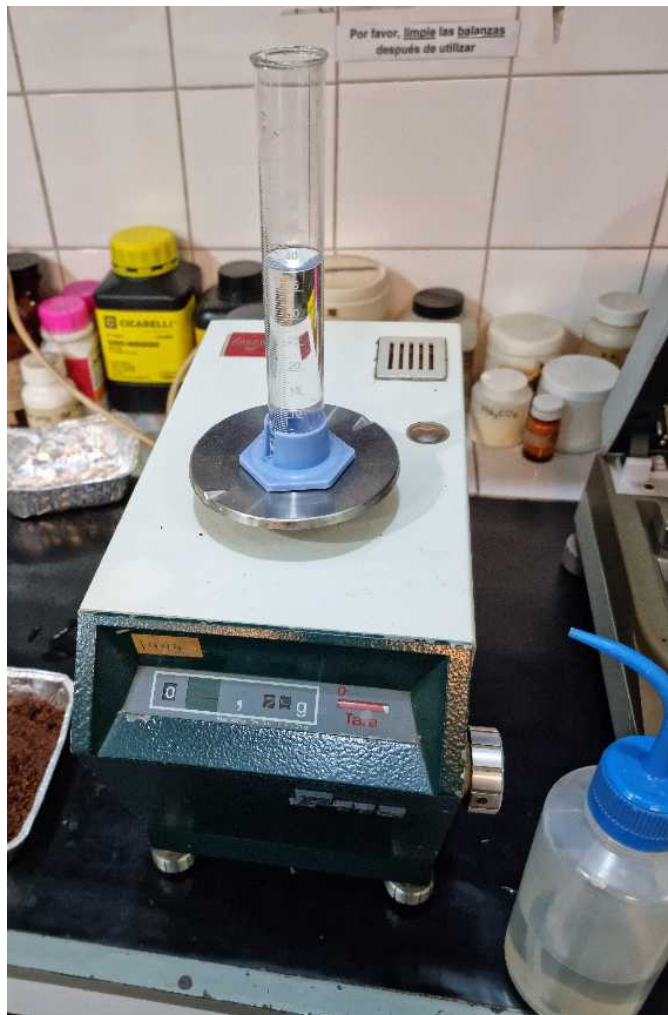


Figura 56: Precisión del agua a ser utilizada

5.3.1 Sensores de la misma partida

Habiéndose adquirido los nuevos sensores de las mismas partidas (figura 57), introduciéndose un cambio en la metodología descrita en la parte I, respecto del uso del agua, la parte II se procede a pesar el agua, logrando de ese modo un mejor control y estimación sobre los puntos para la calibración del dispositivo.



Figura 57: Cambio de sensores YL69

5.3.2 Referencia inicial de los sensores de la misma partida

Habiendo pasado por los ensayos de la parte I del presente capítulo en la tabla 5.6 se tienen los valores de los diferentes sensores identificados con números (figura 50), donde se puede observar que están siendo sometidos a la misma cantidad de agua destilada y agua de red domiciliaria arrojando valores con cierta diferencia. En tal sentido se ve la necesidad de calibración de cada uno de los sensores para lograr una precisión que tienda a disminuir considerablemente el margen de error en la medición automática del dispositivo a ser implementado.

Tabla 5.6: Medición con los sensores en agua destilada y agua de red domiciliaria

Nro Sensor	Valor en seco	100% agua destilada	100% agua de red domiciliaria
1	1023	930	580
2	1023	930	610
3	1023	870	533
4	1023	780	398

5.3.3 Calibración en forma conjunta arena y tierra

Al llegar a la parte II del procedimiento, que corresponden al proceso de calibración de los sensores de manera individual en perfiles de suelo como arena y tierra húmedas en diferentes grados se logra una mejor adaptabilidad de los recursos disponibles para abordar los ensayos incluyendo el orden de disposición de los datos, dando cuenta de ellos los siguientes puntos para una calibración uniforme. En los ítems siguientes se ordenan los datos por sensor, si bien en cada etapa de ensayo como se describe en la parte I, los ensayos se procesan en forma conjunta (sensores 1, 2, 3 y 4). En las siguientes tablas se los agrupa por sensores haciendo más amigable su comprensión al proceso de calibración en el perfil de suelo.

5.3.3.1 Calibración del sensor 1

En la tabla 5.7 se observa los valores sensados para el sensor Nr1 en cuatro puntos diferentes para el perfil de suelo arena y tierra, pudiendo también observarse la función matemática (ver figura 58, 59 perfil arena y tierra), resultados gracias al uso de la herramienta LibreOffice Calc.

Tabla 5.7: Calibración del sensor Nro 1 en arena y tierra

Recipiente	Tara	Carga + Tara	Sensor En seco	Carga Tara Agua	Sensor en Arena + Tara + Agua	Tierra/arena Húmeda	Agua	Tierra /Arena Seca	% de base húmeda	% de base seca
A1-S1	11,39	162,31	1023	181,18	718	170,41	19,49	150,92	11,44	12,91
A1-S1	11,39	162,31	1023	190,81	569	179,42	28,5	150,92	15,88	18,88
A1-S1	11,39	162,31	1023	200	456	188,61	37,69	150,92	19,98	24,97
A1-S1	11,39	62,31	1023	209,11	428	197,72	46,8	150,92	23,67	31,01
T1-S1	11,85	111,66	1023	128,55	935	116,7	16,89	99,81	14,47	16,92
T1-S1	11,85	110	1023	139	400	127,15	29	98,15	22,81	29,55
T1-S1	11,85	109,56	1023	147,52	306	135,67	37,96	97,71	27,98	38,85
T1-S1	11,85	110	1023	157,61	276	145,76	47,61	98,15	32,66	48,51

Los valores de: Tara, Carga + Tara, Carga Tara Agua, Tierra, Arena están expresados en gramos.
Los valores de sensor: la placa Arduino detecta el nivel de voltaje entregado por el sensor YL-69, y lo transforma en número decimal entre 0 y 1023. Cuando el sensor no detecta humedad (seco) entrega un valor cercano a 1023 y cuando detecta un valor alto en humedad entrega un valor cercano al 0.
Los valores de % de humedad: son el resultado de aplicar la formula matemática para encontrar el porcentaje respecto de los pesos en gramos.

Los indicadores A1-S1 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de arena

Los indicadores T1-S1 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de tierra

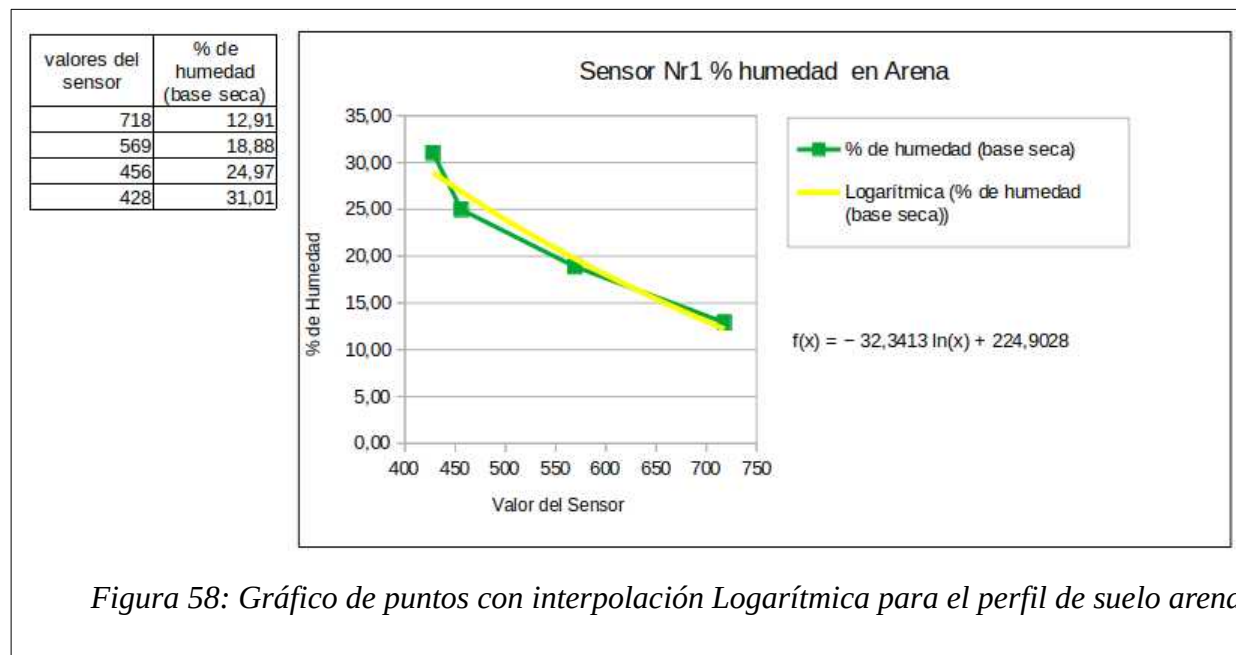


Figura 58: Gráfico de puntos con interpolación Logarítmica para el perfil de suelo arena

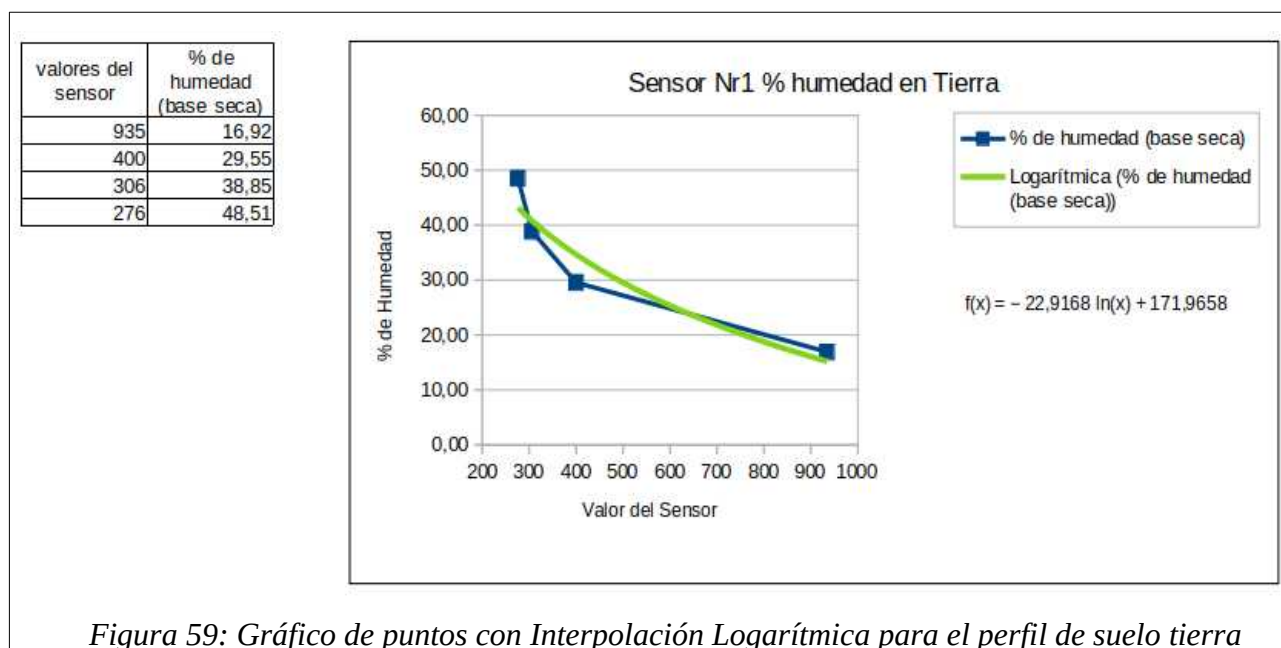


Figura 59: Gráfico de puntos con Interpolación Logarítmica para el perfil de suelo tierra

5.3.3.2 Calibración del sensor 2

En la tabla 5.8 se observan los valores sensados por el sensor Nr2 en cuatro puntos diferentes para el perfil de suelo arena y tierra, pudiendo también observarse la función matemática (función

logarítmica ver figura 60, 61 perfil arena y tierra), estos resultados se observan gracias al uso de la herramienta LibreOffice Calc.

Tabla 5.8: Calibración del sensor Nro 2 en arena y tierra

Recipiente	Tara	Carga + Tara	Sensor En seco	Carga Tara Agua	Sensor en Arena + Tara + Agua	Tierra/arena Húmeda	Agua	Tierra /Arena Seca	% de base húmeda	% de base seca
A2-S1	12,51	163,59	1023	181,30	633	168,79	17,71	151,08	10,49	11,72
A2-S2	12,51	63,59	1023	190,53	568	178,02	26,94	151,08	15,13	17,83
A2-S2	12,51	163,59	1023	202,35	451	189,84	38,76	151,08	20,42	25,66
A2-S2	12,51	63,59	1023	210,44	327	197,93	46,85	151,08	23,67	31,01
T2-S2	14,10	114,00	1023	133,68	930	119,58	19,68	99,90	16,46	19,70
T2-S2	14,10	114,12	1023	142,00	512	127,90	27,88	100,02	21,80	27,87
T2-S2	14,10	13,26	1023	151,17	338	137,07	37,91	99,16	27,66	38,23
T2-S2	14,10	140,00 ¹	1023	161,13	310	147,03	47,13	99,90	32,05	47,18

Los valores de: Tara, Carga + Tara, Carga Tara Agua, Tierra, Arena están expresados en gramos.
 Los valores de sensor: La placa Arduino detecta el nivel de voltaje entregado por el sensor YL-69, y lo transforma en número decimal entre 0 y 1023. Cuando el sensor no detecta humedad (seco) entrega un valor cercano a 1023 y cuando detecta un valor alto en humedad entrega un valor con tendencia a 0.
 Los valores de % de humedad: son el resultado de aplicar la fórmula matemática para encontrar el porcentaje respecto de los pesos en gramos.
 Los indicadores A2-S2 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de arena
 Los indicadores T2-S2 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de tierra

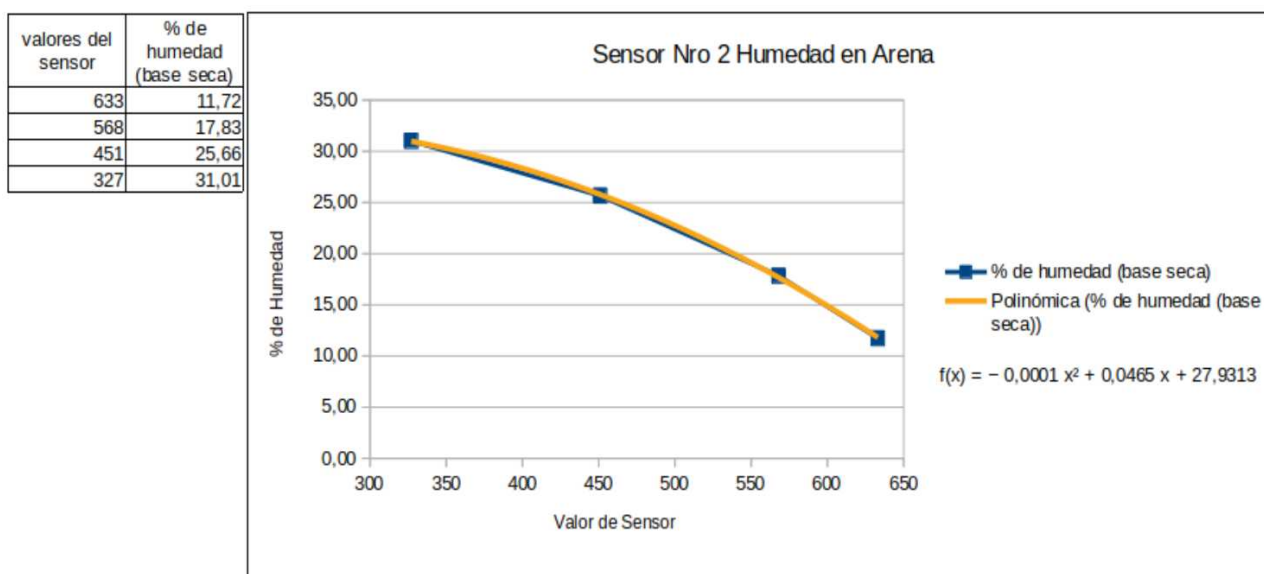


Figura 60: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo arena

valores del sensor	% de humedad (base seca)
930	19,70
512	27,87
338	38,23
310	47,18

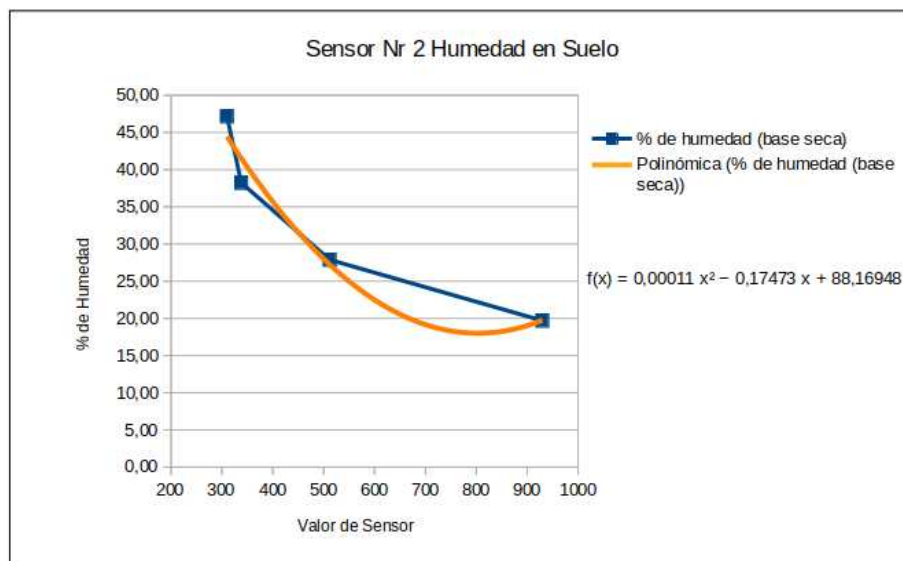


Figura 61: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo arena

5.3.3.3 Calibración del sensor 3

En la tabla 5.9 se observan los valores sensados por el sensor Nr3 en cuatro puntos diferentes para el perfil de suelo arena y tierra, pudiendo también observarse la función matemática (polinómica ver figura 62, 63 perfil arena y tierra), estos resultados se observan gracias al uso de la herramienta LibreOffice Calc.

Tabla 5.9: Calibración del sensor Nro 3 en arena y tierra

Recipiente	Tara	Carga + Tara	Sensor En seco	Carga Tara Agua	Sensor en Arena + Tara + Agua	Tierra/arena Húmeda	Agua	Tierra /Arena Seca	% de base húmeda	% de base seca
A3-S3	8,02	158,59	1023	176,37	667	168,35	17,78	150,57	10,56	11,81
A3-S3	8,02	158,59	1023	186,40	635	178,38	27,81	150,57	15,59	18,47
A3-S3	14,12	162,81	1023	201,00	365	186,88	38,19	148,89	20,44	25,68
A3-S3	14,12	162,81	1023	210,37	220	196,25	47,56	148,89	24,23	31,99
T3-S3	14,12	12,15	1023	130,41	898	116,31	18,26	98,05	15,70	18,62
T3-S3	14,12	113,15	1023	140,89	359	126,79	27,74	99,05	21,88	28,01

T3-S3	14,12	114,10	1023	151,00	362	136,90	36,90	100,00	26,95	36,90
T3-S3	14,12	113,15	1023	160,90	320	146,80	47,75	99,05	32,53	48,21

Los valores de: Tara, Carga + Tara, Carga Tara Agua, Tierra, Arena están expresados en gramos.

Los valores de sensor: La placa Arduino detecta el nivel de voltaje entregado por el sensor YL-69, y lo transforma en número decimal entre 0 y 1023. Cuando el sensor no detecta humedad (seco) entrega un valor cercano a 1023 y cuando detecta un valor alto en humedad entrega un valor con tendencia a 0.

Los valores de % de humedad: son el resultado de aplicar la fórmula matemática para encontrar el porcentaje respecto de los pesos en gramos.

Los indicadores A3-S3 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de arena

Los indicadores T3-S3 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de tierra

valores del sensor	% de humedad (base seca)
750	11,81
635	18,47
365	25,68
220	31,99

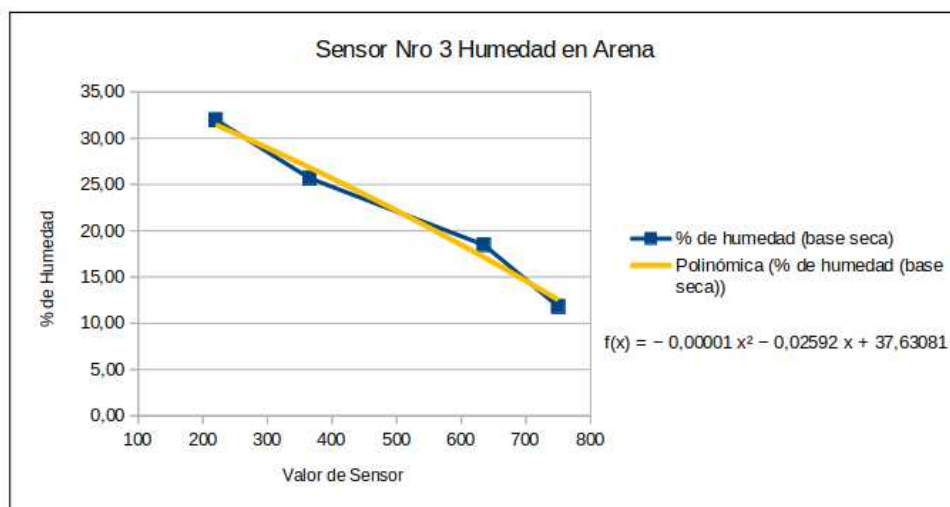


Figura 62: Gráfico de puntos con interpolación Polinómica para el perfil de suelo arena

valores del sensor	% de humedad (base seca)
645	18,62
452	28,01
362	36,90
280	48,21

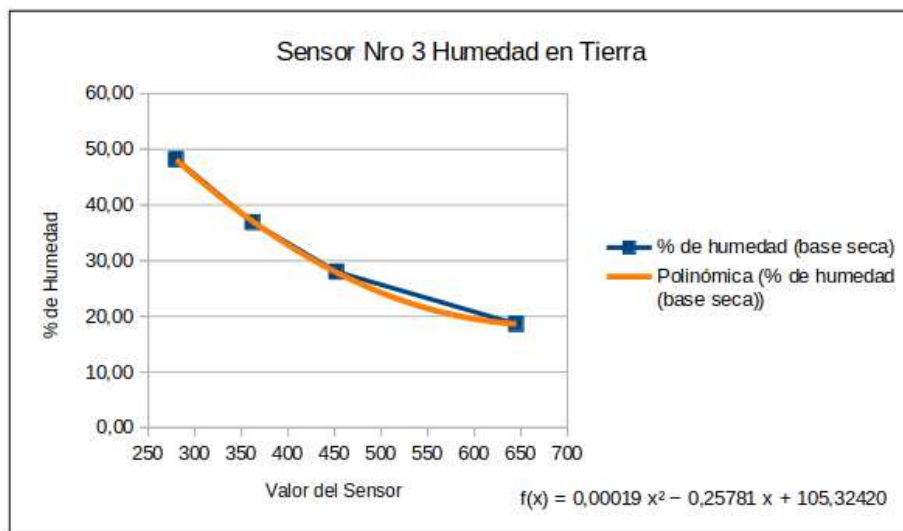


Figura 63: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo Tierra

5.3.3.4 Calibración del sensor 4

En la tabla 5.10 se observan los valores sensados por el sensor Nr4 en cuatro puntos diferentes para el perfil de suelo arena y tierra, pudiendo también observarse la función matemática (polinómica ver figura 64, 65 perfil arena y tierra), estos resultados se observan gracias al uso de la herramienta LibreOffice Calc.

Tabla 5.10: Calibración del sensor Nro 4 en arena y tierra

Recipiente	Tara	Carga + Tara	Sensor En seco	Carga Tara Agua	Sensor en Arena + Tara + Agua	Tierra/arena Húmeda	Agua	Tierra /Arena Seca	% de base húmeda	% de base seca
A4 – S4	6,96	158,34	1023	176,00	670	169,04	17,66	151,38	10,45	11,67
A4 – S4	15,00	165	1023	195,80	499	180,80	30,80	150,00	17,04	20,53
A4 – S4	6,96	158,34	1023	195,79	500	188,83	37,45	151,38	19,83	27,74
A4 – S4	15,00	165,00	1023	217,71	307	202,71	52,71	150,00	26,00	35,14
A4 – S4	13,00	111,70	1023	130,39	544	117,39	18,69	98,70	15,92	18,94
A4 – S4	13,00	111,70	1023	141,00	340	128,00	29,30	98,70	22,89	29,69
A4 – S4	13,00	110,75	1023	148,12	351	135,12	37,37	97,75	27,66	38,23
A4 – S4	13,00	112,05	1023	159,60	306	146,60	47,55	99,05	32,44	48,01

Los valores de: Tara, Carga + Tara, Carga Tara Agua, Tierra, Arena están expresados en gramos.

Los valores de sensor: La placa Arduino detecta el nivel de voltaje entregado por el sensor YL-69, y lo transforma en número decimal entre 0 y 1023. Cuando el sensor no detecta humedad (seco) entrega un valor cercano a 1023 y cuando detecta un valor alto en humedad entrega un valor con tendencia a 0.

Los valores de % de humedad: son el resultado de aplicar la fórmula matemática para encontrar el porcentaje respecto de los pesos en gramos.

Los indicadores A4-S4 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de arena

Los indicadores T4-S4 hacen referencia al conjunto recipiente y sensor de tierra

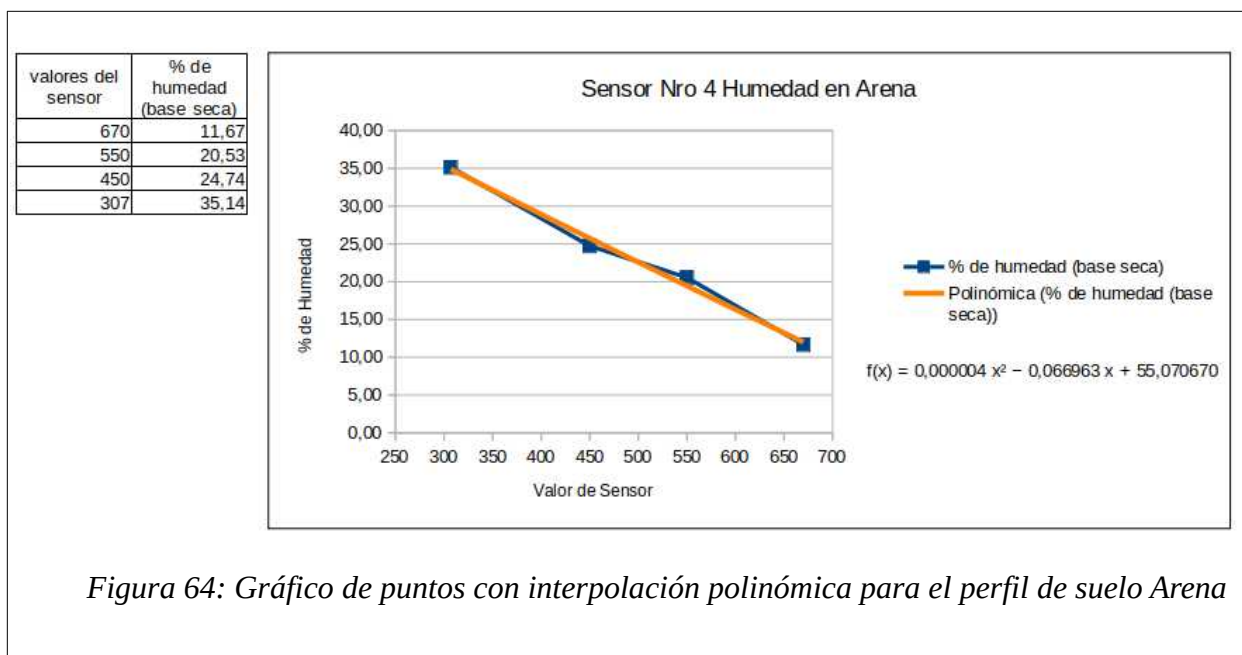


Figura 64: Gráfico de puntos con interpolación polinómica para el perfil de suelo Arena

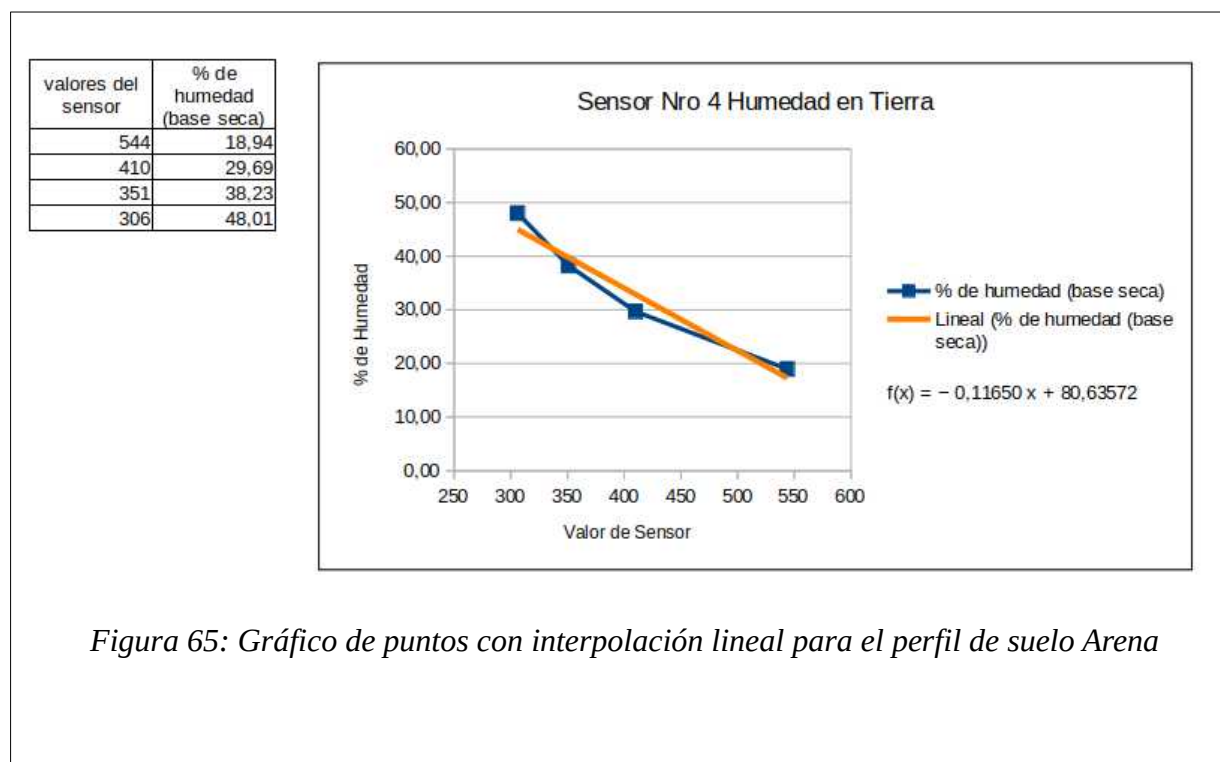


Figura 65: Gráfico de puntos con interpolación lineal para el perfil de suelo Arena

5.4 Parte III Experiencia de uso del dispositivo en laboratorio

Habiendo superado los procesos (parte I y II), para los debidos ensayos de calibración a partir de los valores sensados en las diferentes muestras con los diferentes sensores y perfiles de suelo, en este apartado se procede a un ensayo de laboratorio para determinar la velocidad de transporte del

agua en un determinado perfil de suelo, arena para el siguiente ejemplo, donde se puede observar la disposición de los sensores figura 67, Error: no se encontró el origen de la referencia junto con los valores iniciales.

Indicadores de Sensores de temperatura en Tiempo Real:

Probetas según perfiles	Humedad del suelo	Humedad del ambiente	Temperatura del ambiente
Perfil 1	1023	55	26
Perfil 2	1023	55	26
Perfil 3	1023	55	26
Perfil 4	1023	55	26

En las siguientes entradas cargue a que distancia se encuentra cada perfil en CMs de la superficie

Nombre del Ensayo: Perfil 1: Perfil 2: Perfil 3: Perfil 4:
Intervalo de tiempo en segundos("para la lectura"): Duracion del ensayo en minutos:

Figura 66: Aplicación web con Indicadores de los sensores en tiempo real



Figura 67: Disposición de sensores.

5.4.1 Medición con valores sin variaciones

Se observa en la figura 68, se prepara el dispositivo para realizar una medición de velocidad de transporte de agua en suelo(en la presente medición el perfil de suelo es arena Figura 71).

Probetas según perfiles	Humedad del suelo	Humedad del ambiente	Temperatura del ambiente
Perfil 1	1023	48	27
Perfil 2	1023	48	27
Perfil 3	1023	48	27
Perfil 4	1023	48	27

Figura 68: Aplicación web con Indicadores de los sensores en tiempo real y sus parámetros

Para la primera experiencia se deja sin efecto la circulación del agua para observar el comportamiento del instrumento, simplemente se le pasa los parámetros para la medición (Figura 68) .Luego de procesar el ensayo se ven los resultados en la figura 70 teniendo un tiempo total de dos minutos, con intervalos de 10 segundos(aproximados) entre lectura y lectura.



Figura 69: Perfil de suelo ARENA con sensores sin agua, con caja estanco

Nombre del Ensayo: PRUEBA 1											
LECTURA	H.S. P 1	H.A.	H.S P2	T.A.	H.S. P3	H.S. P4	Altura P1	Altura P2	Altura P3	Altura P4	Hora
1	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	01:59:56
2	1023	48	1023	28	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:00:06
3	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:00:16
4	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:00:26
5	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:00:36
6	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:01:46
7	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:01:56
8	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:01:06
9	1023	48	1023	28	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:01:16
10	1023	48	1023	28	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:01:26
11	1023	48	1023	27	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:01:36
12	1023	48	1023	28	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:02:46
13	1023	48	1023	28	1023	1023	6	13,5	21,5	29,5	02:02:56
H.S. P 1	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo										
H.A.	Lectura de la Humedad Ambiente										
H.S. p2	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo										
T.A.	Lectura de la Temperatura Ambiente										
H.S. p3	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo										
H.S. p4	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo										
Altura P1	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P1 desde la superficie del suelo										
Altura P2	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P2 desde la superficie del suelo										
Altura P3	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P3 desde la superficie del suelo										
Altura P4	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P4 desde la superficie del suelo										
Hora	Tiempo transcurrido desde el momento en el que el dispositivo para la medición es encendido, indicando el intervalo en segundos entre lectura y lectura										

Figura 70: Resultados de la la PRUEBA 1, primer ensayo del dispositivo de lectura de humedad del suelo

5.4.2 Medición con valores aplicando variaciones con derrame de agua

Para una segunda experiencia se procede a verter una pequeña cantidad de agua para observar el comportamiento del instrumento, se adquieren los valores medidos por los sensores (Figura71) observándose los resultados en la figura 72,73 donde el tiempo total de medición es de 4 minutos. Con intervalos de 3 segundos entre lectura y lectura, donde en esta experiencia se ha volcado un total de 800 cm³ de agua en el lapso de 120 segundos.

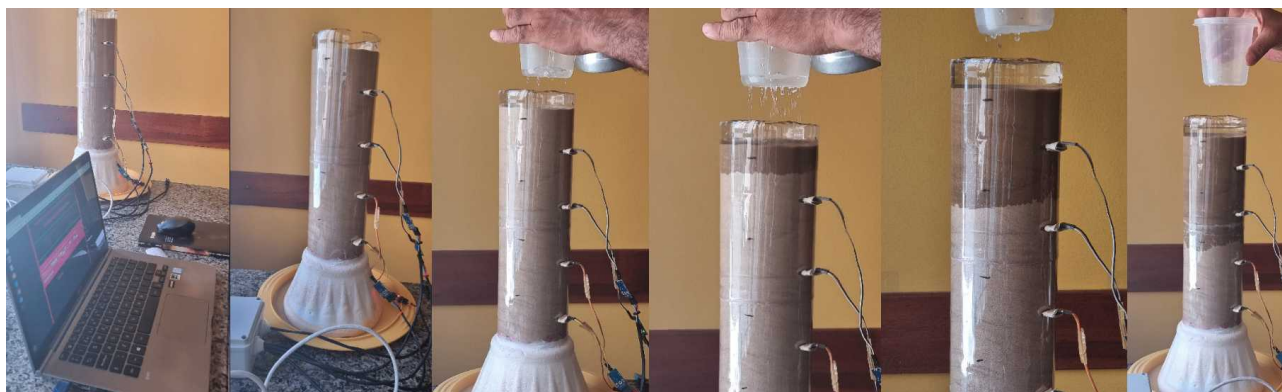


Figura 71: Transporte de agua en perfil del suelo ARENA

Nombre del Ensayo: PRUEBA 2											
LECTURA	H.S. P 1	Altura P1	H.S P2	Altura P2	H.S. P3	Altura P3	H.S. P4	Altura P4	H.A.	T.A.	Hora
1	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	54	24	00:20:26
2	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	53	24	00:20:29
3	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:32
4	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:35
5	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:38
6	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:41
7	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:44
8	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:47
9	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:50
10	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:53
11	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:56
12	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:20:59
13	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:02
14	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:05
15	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:08
16	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:11
17	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:14
18	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:17
19	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:20
20	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:23
21	1023	5,5	1023	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:26
22	785	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:29
23	693	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:32
24	683	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:35
25	696	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:38
26	707	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:41
27	712	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:44
28	723	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:21:47
29	722	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:50
30	724	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:53
31	728	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:56
32	734	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:21:59
33	739	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:02
34	745	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:22:05
35	749	5,5	1011	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:22:08
36	753	5,5	705	13,5	1023	21	1023	29	52	24	00:22:11
37	757	5,5	713	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:14
38	761	5,5	720	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:17
39	764	5,5	727	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:20
40	766	5,5	731	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:23
41	801	5,5	773	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:26

Figura 72: Resultado de los valores obtenidos en los sensores.

Sistema embebido para calibración de humedad del suelo utilizado en la experimentación del Instituto de
Materiales de Misiones

Nombre del Ensayo: PRUEBA 2											
LECTURA	H.S. P 1	Altura P1	H.S P2	Altura P2	H.S. P3	Altura P3	H.S. P4	Altura P4	H.A.	T.A.	Hora
40	766	5,5	731	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:23
41	801	5,5	773	13,5	1023	21	1023	29	51	24	00:22:26
42	756	5,5	723	13,5	1023	21	1022	29	52	24	00:22:29
43	734	5,5	699	13,5	1023	21	1022	29	51	24	00:22:32
44	730	5,5	695	13,5	1023	21	1022	29	52	24	00:22:35
45	722	5,5	687	13,5	873	21	1021	29	52	24	00:22:38
46	717	5,5	682	13,5	765	21	1021	29	52	24	00:22:41
47	713	5,5	677	13,5	700	21	1022	29	52	24	00:22:44
48	680	5,5	653	13,5	599	21	1022	29	51	24	00:22:47
49	642	5,5	640	13,5	414	21	1022	29	52	24	00:22:50
50	640	5,5	635	13,5	383	21	1022	29	51	24	00:22:53
51	642	5,5	637	13,5	377	21	1022	29	52	24	00:22:56
52	649	5,5	642	13,5	385	21	1021	29	51	24	00:22:59
53	656	5,5	649	13,5	400	21	873	29	51	24	00:23:02
54	666	5,5	658	13,5	424	21	765	29	51	24	00:23:05
55	674	5,5	668	13,5	451	21	700	29	51	24	00:23:08
56	680	5,5	673	13,5	467	21	599	29	51	24	00:23:11
57	687	5,5	680	13,5	489	21	414	29	51	24	00:23:14
58	693	5,5	685	13,5	509	21	343	29	51	24	00:23:17
59	697	5,5	690	13,5	526	21	349	29	51	24	00:23:20
60	701	5,5	694	13,5	538	21	343	29	51	24	00:23:23
61	727	5,5	686	13,5	576	21	343	29	53	24	00:23:26
62	730	5,5	687	13,5	577	21	337	29	51	24	00:23:29
63	732	5,5	687	13,5	577	21	343	29	51	24	00:23:32
64	733	5,5	687	13,5	577	21	349	29	51	24	00:23:35
65	734	5,5	687	13,5	577	21	356	29	51	24	00:23:38
66	735	5,5	686	13,5	577	21	356	29	51	24	00:23:41
67	736	5,5	686	13,5	576	21	361	29	51	24	00:23:44
68	737	5,5	685	13,5	575	21	362	29	51	24	00:23:47
69	737	5,5	684	13,5	573	21	362	29	51	24	00:23:50
70	737	5,5	683	13,5	571	21	362	29	51	24	00:23:53
71	737	5,5	682	13,5	569	21	362	29	51	24	00:23:56
72	737	5,5	681	13,5	567	21	363	29	51	24	00:23:59
73	737	5,5	680	13,5	566	21	366	29	51	24	00:24:02
74	737	5,5	679	13,5	564	21	365	29	51	24	00:24:05
75	737	5,5	678	13,5	562	21	366	29	51	24	00:24:08
76	737	5,5	677	13,5	562	21	367	29	51	24	00:24:11
77	736	5,5	676	13,5	560	21	365	29	51	24	00:24:14
78	736	5,5	675	13,5	559	21	357	29	51	24	00:24:17
79	736	5,5	675	13,5	558	21	359	29	51	24	00:24:20
80	736	5,5	673	13,5	556	21	358	29	51	24	00:24:23

H.S. P 1	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo
H.A.	Lectura de la Humedad Ambiente
H.S. p2	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo
T.A.	Lectura de la Temperatura Ambiente
H.S. p3	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo
H.S. p4	Estado (lectura) del sensor P1 humedad del suelo
Altura P1	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P1 desde la superficie del suelo
Altura P2	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P2 desde la superficie del suelo
Altura P3	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P3 desde la superficie del suelo
Altura P4	Distancia en centímetros en la que se encuentra el sensor P4 desde la superficie del suelo
Hora	Tiempo transcurrido desde el momento en el que el dispositivo para la medición es encendido, indicando el intervalo en segundos entre lectura y lectura

Figura 73: Resultado de los valores obtenidos en los sensores.

Los valores obtenidos (Figura 72 y 73), forman parte de un proceso de adquisición de datos para luego ser estudiados por investigadores del instituto de materiales de Misiones dando cuenta del uso del dispositivo construido en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

6.1 Conclusiones

Este trabajo presenta el desarrollo de un dispositivo que permite la normalización, calibración y precisión de humedad en diferentes perfiles de suelo, en tubos de ensayo donde son puestos los sensores de humedad (sondas YL69), utilizando sistema embebido (Arduino Uno), para medición de humedad y de uso en experimental en el IMAM.

El dispositivo de adquisición, calibración y precisión de humedad en diferentes perfiles de suelo está diseñado para ser usado de manera simple, con una interfaz amigable.

Caracteriza su implementación el bajo costo económico, debido a que basa su estructura sobre una placa Arduino, de simple accesibilidad para el desarrollo y fácil implementación en proyectos de investigación.

El dispositivo es validado con expertos en el dominio de la materia, donde éstos pueden llevar a cabo un proceso de calibración en diferentes tipos de suelo con agua. El dispositivo desarrollado es puesto a prueba por medio de las mediciones de humedad mediante el método gravimétrico, utilizando instrumentos de laboratorio para determinar los porcentaje de humedad en suelo, por medio de indicadores obtenidos del dispositivo. Estos indicadores varían entre 1 y 1023, siendo 1023 ausencia de agua y la disminución gradual de ésta, indica la presencia de agua en el suelo.

El dispositivo desarrollado emplea un método de calibración de los sensores; suponiendo el reemplazo de alguna de las sondas, debido a la poca durabilidad de acuerdo a la superficie y tiempo que es expuesto para los experimentos de medición en laboratorio.

El sistema propuesto en este trabajo, utiliza principalmente software de acceso abierto de terceros, como LibreOffice Calc.

El dispositivo logrado incluye un programa embebido desarrollado para el microcontrolador Arduino, el cual se programa con el entorno de desarrollo (IDE Arduino), utilizando un lenguaje de programación de alto nivel Processing, similar a C++.

De manera conjunta al dispositivo, se presenta el desarrollo de un software en lenguaje PHP con HTML5 y hojas de estilo para la adquisición de información sensado desde el dispositivo y posterior procesamiento.

Al ser el software desarrollado para un entorno web, hace posible su uso y acceso a los datos sensados de manera remota. Es relevante destacar el bajo costo en comparación con productos de similares características existentes en el mercado, en ocasiones tales productos, con demandas específicas, no existen en el mercado, lo que aumenta aún más su costo. Las instituciones que apuestan al desarrollo e implementación de productos de estas características tienen en sus comienzos una inversión significativa en recursos humanos y con el transcurrir del tiempo se transforman en grandes ventajas para el logro de sus objetivos.

En trabajos de investigación a futuro será posible desarrollar su funcionalidad a través de una plataforma móvil, el operarlo de manera remota y desde un dispositivo móvil lo hace un recurso tecnológico mas simple de operar. .

La conjunción de todas las tecnológicas mencionadas hacen posible lograr un producto funcional y apto para trabajos de investigación. No obstante, el sistema desarrollado carece de funcionalidades robustas comparados con productos industrializados, ejemplo de ello el uso de las sondas YL69 que son de baja duración. Cabe mencionar cierta limitación y está dada por el desarrollo del software que acompaña al dispositivo, de funcionalidades reducidas teniendo que valerse el investigador de terceras aplicaciones, ejemplo de ello la calibración de las sondas al ser reemplazadas.

Por todo lo expuesto se concluye los siguientes aspectos del dispositivo logrado:
positivos

- Uso simple y accesible sin mayores conocimientos técnicos
- Bajo costo económico.
- Uso de software acceso libre.
- Programa embebido desarrollado para el micro-controlador Arduino
- Uso y acceso a los datos sensados, en forma remota.
- La conjunción de varias tecnologías open source logran un producto funcional y apto para el trabajo del investigador.

Cuestiones a tener presentes

- Carece de funcionalidad robusta comparado con productos industrializados.
- Uso de la las sondas YL69 de baja durabilidad.
- Proceso de calibración de las sondas al ser reemplazadas

6.2 Trabajos futuros

- Implementar el dispositivo para control de humedad y riego automático en invernaderos, jardines domiciliarios.
- Lograr una versión para dispositivos móviles
- Internet de las cosas (IoT²⁰)

²⁰ Internet de las cosas (IoT) conceptualiza la red de objetos físicos ("cosas") , estos tienen introducidos sensores, programas y otras tecnologías con el objetivo de estar interconectados e interactuar con otros dispositivos gracias a la red de Internet

Bibliografía

- [1] “Intel® SoC FPGAs Programmable Devices.” <https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/programmable/soc.html> (accessed Jul. 30, 2020).
- [2] J. L. Martinez, “Modelado matemático del transporte de agua y solúto en suelo no saturado mediante diferencias finitas,” UNaM, 2016.
- [3] P. Weinzettel, M. Varni, S. Dietrich, and E. Usunoff, “Evaluación de tres dispositivos de tomografía eléctrica para la identificación de horizontes petrocalcicos en el suelo,” *Cienc. del Suelo*, vol. 27, no. 1, pp. 135–146, 2009.
- [4] M. A. de Pablo Hdez C de Pablo S, “Tecnología Y Desarrollo Ardudrop 1.0: Dispositivo Electrónico Para El Estudio De La Humedad Del Suelo.” [Online]. Available: http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10_006.pdf.
- [5] P. Carlino Cantis, “¿Por qué no se completan las tesis en los postgrados?: obstáculos percibidos por maestrandos en curso y magistri exitosos,” *Educere Rev. Venez. Educ.*, no. 30, pp. 415–420, 2005.
- [6] M. Jara, L. Arauco, P. Abad, and R. Paucar, “Implementación de un Sistema de Monitoreo de Parametros Ambientales y del suelo desde dispositivos fijos y móviles usando la Tecnología Zigbee para el uso eficiente del recurso hídrico en la Agricultura,” pp. 288–292, 2014.
- [7] M. C. Area *et al.*, “Acerca del IMaM | IMAM.” <https://imam.conicet.gov.ar/acerca-del-imam/> (accessed Jun. 24, 2020).
- [8] Reinier Millo Sánchez, “Propuesta de software base para el desarrollo de sistemas embebidos,” *Propues. Softw. base para el Desarro. Sist. embebidos*, no. June, p. 162, 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.1386.9686.
- [9] M. Wolf, *Computers as Components*, 3rd Editio. 2012.
- [10] A. Silberschatz, P. B. Galvin, and G. Gagne, “Operating System Concepts Essentials Second Edition,” p. 784, 2013.
- [11] F. DE Mecánica, P. por, and J. Diego Cruz Freire Darwin Vinicio Chimbo Chimbo, “Escuela Superior Politécnica De Chimborazo,” 2015.
- [12] T. Wilmshurst, *An introduction to the design of small-scale embedded systems*. Palgrave.
- [13] C. Hallinan, *Embedded Linux Primer: A Practical Real-World Approach*, no. 0. 2006.
- [14] Lifelong Learning, “Ingeniería de los sistemas embebidos.,” *Ind. Syst. engineering*, pp. 1–19, 2011.

-
- [15] R. Sánchez Vítores, “Aplicaciones de los sistemas embebidos,” *Técnica Ind.*, no. 1, pp. 24–27, 2004, [Online]. Available: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/15/07/a07.pdf>.
- [16] Elías Todorovich., “Línea de Investigación Sistemas Embebidos -.” <https://www.ufasta.edu.ar/investigacion/linea-de-investigacion-sistemas-embebido/> (accessed Jul. 27, 2020).
- [17] R. M. Metcalfe and D. R. Boggs, “Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks,” *Commun. ACM*, vol. 19, no. 7, pp. 395–404, 1976, doi: 10.1145/360248.360253.
- [18] E. Todorovich., “Interfaz USB. 1.,” 1996.
- [19] C. Takanashi and K. J. Lee, “Standard development by committees and communities: a comparative case study of IEEE1394 and USB,” *Technol. Anal. Strateg. Manag.*, vol. 25, no. 1, pp. 91–105, 2013, doi: 10.1080/09537325.2012.751013.
- [20] R. Sánchez and V. De, “Estado del arte de los sistemas microelectromecánicos,” *Cienc. e Ing.*, vol. 27, no. 3, pp. 109–117, 2006.
- [21] G. Benet and J. E. Simó, “Un protocolo de comunicaciones de tiempo real para sistemas empotrados distribuidos. Aplicación al control de robots,” vol. 3, pp. 71–78, 2006.
- [22] J. Téllez, “Estado de la formación en sistemas embebidos ¿Se pueden crear sin respaldo educativo y sin vinculación empresarial?,” *Cuad. Trab.*, pp. 1–65, 2012, [Online]. Available: <https://infotec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1027/152/1/4.pdf>.
- [23] R. Colombiana and D. Corporaci, “Estado Del Arte Del Desarrollo De Sistemas Embebidos Desde Una Perspectiva Integrada Entre El Hardware Y Software,” *Estado Del Arte Del Desarro. Sist. Embebidos Desde Una Perspect. Integr. Entre El Hardw. Y Softw.*, vol. 2, no. 22, 2013, doi: 10.24054/16927257.v22.n22.2013.416.
- [24] R. Colombiana, “Estado Del Arte Del Desarrollo De Sistemas Embebidos Desde Una Perspectiva Integrada Entre El Hardware Y Software,” *Estado Del Arte Del Desarro. Sist. Embebidos Desde Una Perspect. Integr. Entre El Hardw. Y Softw.*, vol. 2, no. 22, 2013, doi: 10.24054/16927257.v22.n22.2013.416.
- [25] J. McDermid, *Book review: Software Engineering: a Practitioner’s Approach*, vol. 10, no. 6. 1995.
- [26] L. Null and J. Lobur, “A Guide to the MARIE Machine Simulator Environment Accompanying The Essentials of Computer Organization and Architecture 3 / e by,” no. June, pp. 1–20, 2010.

- [27] N. I. Corp., “Herramientas para Diseño de Sistemas Embebidos en C/C++ - NI.” <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/13/c-c---embedded-system-design-tools.html> (accessed Jul. 29, 2020).
- [28] P. A. García, “Sistemas embebidos de tiempo real con aplicaciones en bioingeniería,” Universidad Nacional de la Plata, 2019.
- [29] Y. A. Badamasi, “The working principle of an Arduino,” *Proc. 11th Int. Conf. Electron. Comput. Comput. ICECCO 2014*, 2014, doi: 10.1109/ICECCO.2014.6997578.
- [30] P. A. García, “Sistemas Embebidos de Tiempo Real con aplicaciones en Bioingeniería,” Universidad Nacional de la Plata, 2012.
- [31] “Workshops del SASE 2019 | Simposio Argentino de Sistemas Embebidos (SASE) 2019.” <http://www.sase.com.ar/2019/workshops2019/> (accessed Dec. 01, 2020).
- [32] J. O. Hamblen, *El prototipado rapido de sistemas digitales*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [33] “Memorias de la XI jornada,” vol. 1, 2019.
- [34] A. Ernesto *et al.*, “Sistema de Autenticación Facial mediante la Implementación del algoritmo PCA modificado en Sistemas embebidos con arquitectura ARM,” vol. 4, no. 2, pp. 53–64, 2015.
- [35] E. C. Martin and C. Munoz, “Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?,” *Extensión Coop. la Univ. Arizona*, no. AZ1220s, p. 8, 2017, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10150/625275>.
- [36] L. Usuga and V. Pauwels, “Utilización de sensores de humedad para la determinación del contenido de humedad del suelo: ecuaciones de calibración,” *Suelos Ecuatoriales*, vol. 38, no. 1, pp. 24–33, 2008.
- [37] G. Almeida, M. Rusticucci, and M. Suaya, “Calibración de datos observados de contenido de agua en el suelo con sensores capacitivos,” *Meteorologica*, vol. 41, pp. 65–79, 2016.
- [38] N. Ruiz, “Sondas FDR para la medida de la humedad del suelo.” .
- [39] Y. Fernández, “Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno.” <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno> (accessed Feb. 15, 2021).
- [40] sitio oficial, “Arduino - ArduinoEthernetShieldV1.” <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShieldV1> (accessed Feb. 16, 2021).
- [41] E. Anelka *et al.*, “Sistema automático de riego basado en sistemas embebidos de bajo costo,” no. February, 2021.

- [42] A. Guijarro, L. Cevallos, D. Preciado, and Z. Nagib, “Sistema de riego automatizado con arduino,” *Espacios*, vol. 39, p. 27, 2018.
- [43] J. C. Herrero Herranz and J. Sánchez Allende, “Una mirada al mundo Arduino,” *Rev. Tecnol. y Desarro.*, vol. 13, p. 28, 2015.
- [44] M. P. Duarte, M. P. Duarte, and I. Montero Perez, “Programación en php a través de ejemplos,” *Creat. Commons*, p. 54, 2002, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/es/>.
- [45] M. S. Miguel and A. Fernández, “Sistemas Web En Software Libre Para Informatizar La Web Systems in Free Software To Computerize the Postgraduate Activities Management At Cuban Center for Neuroscience,” vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [46] E. P. Poveda, D. Sevilla, and G. Mauricio, “El maquetado a base de scripts y hojas de estilo en cascada (CSS) y su incidencia en la optimización de un sitio web,” 2012, [Online]. Available: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/7146>.
- [47] J. Franganillo, “HTML5: el nuevo estándar básico de la web,” *Anu. ThinkEPI análisis tendencias en Inf. y Doc.*, pp. 261–265, 2011, [Online]. Available: <http://franganillo.es/html5.pdf>.
- [48] Á. D. Liébana and Carrascosa, ““ Diseño y desarrollo de un sensor de humedad de bajo coste a diferentes profundidades para agricultura de precisión .,”” Universidad Politecnica de Valencia, 2019.
- [49] “ICSP | Aprendiendo Arduino.” <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/06/icsp/> (accessed Mar. 26, 2021).
- [50] L. S. Emilio, “Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino,” *Esc. Tècnica Eng. Inform. Univ. Politècnica València*, pp. 1–44, 2012, [Online]. Available: <http://peie.ucr.ac.cr>.
- [51] D. G. Molina Alvarez and L. J. Rojas Rojas, “Escuela politécnica nacional,” Escuela Politecnica Nacional, 2010.
- [52] Sitio Oficial, “TL-WR841ND | Router inalámbrico N 300Mbps | TP-Link Argentina.” <https://www.tp-link.com/ar/home-networking/wifi-router/tl-wr841nd/> (accessed Mar. 29, 2021).
- [53] C. Paper and I. S. Rincon, “Apagador Touch Usando el Módulo ADC de un PIC12F683 By Ismael Sánchez Rincón,” no. August 2012, 2015, [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2452>.
- [54] B. Marchena and E. Yessenia, “Informe de investigación,” 2019.
- [55] U. T. Israel, “Universidad tecnológica israel,” 2018.

-
- [56] J. G. Carmenate, "Ethernet Shield Arduino parte 1." <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ethernet-shield-arduino/> (accessed Mar. 30, 2021).
- [57] "Disponible en: [http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305026670011,](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305026670011)" 1998, doi: 10.1021/la0470535.
- [58] L. Codina, "Hojas de estilo," *El Prof. la Inf.*, vol. 11, no. 4, pp. 282–285, 2002, doi: 10.1076/epri.11.4.282.10402.
- [59] D. Raggett, A. Le Hors, and I. Jacobs, *HTML 4.01 Specification*, vol. 24, no. December. 1999.
- [60] V. Pérez Pérez, "Desarrollo De Un Sitio Web Para Un Colegio," *Univ. Politec. Val.*, p. 48, 2011.
- [61] E. Bahit, "POO y MVC en PHP El paradigma de la Programación Orientada a Objetos en PHP y el patrón de arquitectura de Software MVC," *Openlibra*, p. 66, 2016, [Online]. Available: <http://www1.herrera.unt.edu.ar/biblcet/wp-content/uploads/2014/12/eugeniabahitpooymvcenphp.pdf>.
- [62] K. Krol, "Data presentation on the map in google charts and jquery javascript technologies," 2005.
- [63] B. P. Felices, "Escuela de Ingeniería y Arquitectura," 2016.
- [64] C. Supaartagorn, "A Framework for Web-based Data Visualization Using Google Charts Based on MVC Pattern," *King Mongkut's Univ. Technol. North Bangkok Int. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 235–241, 2016, doi: 10.14416/j.ijast.2016.11.002.
- [65] L. Sardi, "Calidad Del Agua Domiciliaria. Experiencia De Aprendizaje En El Transcurso De Un Proyecto De Investigación: Aplicación Del Método Científico," pp. 1–10, 2009, [Online]. Available: https://www.palermo.edu/ingenieria/PDFs/GIIS/TRABAJO_COINI_LOPEZSARDI.pdf.
- [66] V. Martínez Sarmiento, "Diseño e Implementación de un Ambiente de Aprendizaje en población Rural de Ciudad Bolívar , basado en la automatización de un sistema de riego en un invernadero," *Proy. grado*, p. 127, 2014, [Online]. Available: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/1999/TE-17009.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [67] R. Radulovich, "Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo," *Agron. Costarric.*, vol. 33, no. 1, pp. 121–124, 2009.
- [68] D. Octavio, P. Su, B. Fabian, and V. Berm, "Diseño de un prototipo de invernadero automatizado e implementación de estrategias de control PID y On-Off para el control de

temperatura y humedad, supervisadas por medio de la plataforma ThingSpeak y almacenamiento de datos en MySQL,” 2020.

[69] Y. Cabarroca Contreras, “Trabajo De Diploma,” *Cenida.Una.Edu.Ni*, p. 68, 2017.

[70] C. Andrade and J. Alvaro, *Análisis de la implementación del sistema de riego automatizado utilizando arduino en la hacienda banatel*. 2019.