

Universidad Nacional de Catamarca

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas

Departamento de Electrónica

Trabajo Final

**“Desarrollo de un Prototipo de Sensor Inteligente de Humedad
en Hoja para Aplicación en Riego de Precisión”**

Arjona Lucas Matías

2013



Universidad Nacional de Catamarca

REPÚBLICA ARGENTINA

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas

Departamento de Electrónica

Maximio Victoria N° 55 – Tel/Fax: 0383-4435112 Int. 171

(4700) San Fernando del Valle de Catamarca

Trabajo para optar el título Profesional de Ingeniero Electrónico

**“Desarrollo de un Prototipo de Sensor Inteligente de Humedad
en Hoja para Aplicación en Riego de Precisión”**

**“Development of a Prototype Smart Leaf Wetness Sensor to Precision
Irrigation Application”**

Consejeros

Pucheta, Julián Antonio

Salas, Carlos Alberto

Arjona Lucas Matías

11 de Julio de 2013

... a mis padres

Agradezco a Dios por haberme dado la posibilidad por medio de mis padres de emprender este camino de estudio y formación; a toda mi familia, mi apoyo y fuerza de día a día; a las personas que desde un principio me dieron fuerza y aliento; a mis compañeros y a mis profesores.

Un agradecimiento especial a los ingenieros Julián Pucheta y Carlos Salas por haberme guiado en este trabajo, y al ingeniero Sergio Gallina por haber aportado sus conocimientos para fortalecer el resultado final del proyecto.

Finalmente, agradecer la colaboración y predisposición de los ingenieros Eduardo Cano, Alberto Nieva, Gabriel Díaz, Mariano Lizárraga, Rubén Salcedo, Pedro Foresi, Daniel Villagrán, a la ingeniera Paola Beltramini y al Departamento de Electrónica de la Facultad de Tecnología y Cs. Aplicadas.

Mayo de 2013

Contenido

| | |
|--|-------------|
| Contenido | v |
| Índice de Tablas | viii |
| Índice de Ilustraciones | viii |
| Índice de Fotografías | ix |
| Resumen | x |
| Abstract | xi |
| Definición del Problema | 1 |
| Situación Actual | 2 |
| Objetivos del Proyecto | 4 |
| Objetivo General | 5 |
| Objetivos Particulares | 5 |
| Marco Teórico | 6 |
| Las Plantas y el Agua | 7 |
| La Electrónica | 9 |
| La Medición | 10 |
| Sensores..... | 11 |
| Transmisión de la Información..... | 12 |
| Transductores inteligentes y el Estándar IEEE 1451..... | 13 |
| Panorama de la Familia de Estándares IEEE 1451..... | 15 |
| Capítulo 1 | |
| Antecedentes | 17 |
| 1.1 Sensores de Humedad de Hoja: Tecnologías de Detección | 18 |
| 1.1.1. Mediciones desde Satélites..... | 18 |
| 1.1.2. Definiciones de VWC..... | 19 |
| 1.1.3. Mediciones desde aviones | 19 |
| 1.1.4. Método por la Cámara de Scholander | 20 |
| 1.1.5. Medición con radiación en terahertz | 20 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 1.1.6. | Medición con sonda de turgencia en hoja..... | 20 |
| 1.1.7. | Medición con sensores de reflectancia solar | 20 |
| 1.1.8. | Medición con cuadripolo electrostático | 21 |
| 1.1.9. | Otros métodos de Medición | 21 |
| 1.1.10. | Propuesta INAUT: Sensor Capacitivo | 21 |
| 1.2 | Sensores Comerciales | 23 |
| Capítulo 2 | | |
| Memoria Descriptiva..... | | 28 |
| 2.1 | Desarrollo del sensor de humedad en hoja | 29 |
| 2.1.1. | Descripción del Principio de Funcionamiento | 30 |
| 2.1.2. | Descripción del Circuito Electrónico..... | 31 |
| 2.2 | Implementación del Estándar IEEE 1451 | 47 |
| 2.2.1. | Registro de estado | 52 |
| 2.2.2. | Las TEDS – Hoja de Datos Electrónica del Transductor | 53 |
| 2.2.3. | Transducer Channel TEDS | 55 |
| 2.2.4. | User’s Transducer Name TEDS..... | 57 |
| 2.3 | Funcionamiento según el estándar..... | 58 |
| 2.3.1. | Comandos | 59 |
| 2.3.2. | Estructura de los Mensajes de Comando | 60 |
| 2.3.3. | Estructura de los Mensajes de Respuesta..... | 61 |
| 2.3.4. | Estructura del Mensaje de Inicio | 62 |
| 2.4 | Propuesta del sistema de control..... | 66 |
| 2.5 | Interfaz Gráfica de Usuario IGU | 68 |
| Capítulo 3 | | |
| Resultados y Conclusiones | | 71 |
| 3.1 | Resultados | 72 |
| 3.2 | Conclusiones..... | 73 |
| 3.3 | Características Técnicas del Sensor SHH-1..... | 75 |
| 3.4 | Líneas Futuras | 76 |
| Glosario | | 78 |

| | |
|--|-----------|
| Referencias | 81 |
| Anexo I - Medición de humedad y temperatura en hoja | 84 |
| Anexo II - Diseño de placas | 89 |
| Anexo III – Código Fuente del microcontrolador | 91 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR RS-485 | 13 |
| TABLA 2: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PIC16F877A | 41 |
| TABLA 3: BITS DEL REGISTRO DE ESTADO (STATUS BITS)..... | 52 |
| TABLA 4: FORMATO GENERAL PARA CUALQUIER TEDS | 53 |
| TABLA 5: CONTENIDO DEL CAMPO TEDSID | 55 |
| TABLA 6: COMANDOS RECONOCIDOS POR EL SENSOR..... | 59 |
| TABLA 7: ESTRUCTURA DE LOS MENSAJES DE COMANDO IEEE 1451.0 | 60 |
| TABLA 8: CLASES ESTÁNDAR DE COMANDOS IEEE 1451.0 | 60 |
| TABLA 9: ESTRUCTURA DEL MENSAJE DE RESPUESTA | 61 |
| TABLA 10: ESTRUCTURA DEL MENSAJE DE INICIO IEEE 1451.0 | 62 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO | 8 |
| FIGURA 2: FUNCIONES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE MEDIDA | 10 |
| FIGURA 3: ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE MEDIDA | 11 |
| FIGURA 4: DIAGRAMA EN BLOQUES DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN GENERAL | 12 |
| FIGURA 5: MODELO DE REFERENCIA DEL ESTÁNDAR IEEE 1451 | 14 |
| FIGURA 6: ESQUEMA GENERAL DE UN TRANSDUCTOR INTELIGENTE SEGÚN EL ESTÁNDAR IEEE 1451.2 | 15 |
| FIGURA 7: SENSOR CAPACITIVO DE HUMEDAD DE SUELO (INAUT) | 22 |
| FIGURA 8: PLACAS DEL CAPACITOR PLANO CON PLANTA ACHIRA (INAUT) | 23 |
| FIGURA 9: SENSOR DE HUMEDAD DE HOJA DE DECAGON DEVICES | 23 |
| FIGURA 10: SENSOR DE HUMEDAD DE HOJA DE DAVIS | 24 |
| FIGURA 11: SENSOR DE HOJA MOJADA DE CAVADEVICES.COM | 26 |
| FIGURA 12: SENSOR DE HUMEDAD DE HOJA DE SIAP+MICROS..... | 26 |
| FIGURA 13: CUERPO DE SENSOR CAPACITIVO DE HUMEDAD DE HOJA..... | 29 |
| FIGURA 14: ESQUEMA INTERNO DEL SENSOR DESARROLLADO. | 30 |
| FIGURA 15: ÁREA SENSORA DEL DISPOSITIVO..... | 31 |
| FIGURA 16: AMPLIFICADOR DE CARGA | 32 |
| FIGURA 17: AMPLIFICADOR NO INVERSOR..... | 34 |
| FIGURA 18: CI 555 EN OPERACIÓN COMO ASTABLE. | 37 |
| FIGURA 19: SENSOR DE TEMPERATURA. IZQ.: CON FUENTE SIMÉTRICA; DER.: CON FUENTE SIMPLE | 39 |
| FIGURA 20: COMPARACIÓN DE DIODO 1N914 (ARRIBA) Y 1N4148 (ABAJO)..... | 41 |
| FIGURA 21: CIRCUITO PRINCIPAL DEL SENSOR DISEÑADO..... | 44 |
| FIGURA 22: SENSOR DE HUMEDAD DE HOJA INTELIGENTE SHH-1..... | 50 |
| FIGURA 23: DIAGRAMA DE ESTADOS DEL SENSOR OPERATIVO | 58 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 24: DIAGRAMA DE FLUJO DEL SENSOR OPERATIVO..... | 65 |
| FIGURA 25: DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO. | 66 |
| FIGURA 26: IGU SHH-1 (PANTALLA AL INICIAR LA APLICACIÓN)..... | 68 |
| FIGURA 27: VENTANA DE LECTURA DE TEDS. | 69 |
| FIGURA 28: RS485 CONEXIÓN HALF-DUPLEX | 70 |
| FIGURA 29: RECEPCIÓN DE COMANDOS IEEE 1451.0 | 73 |
| FIGURA 30: LECTURA DE LA HUMEDAD CON SOFTWARE HERCULES. | 84 |
| FIGURA 31: SATURACIÓN DEL SENSOR..... | 84 |
| FIGURA 32: TEMPERATURA EN LA IGU. | 86 |
| FIGURA 33: ÁREA SENSORA. | 89 |
| FIGURA 34: PLACA DE ACONDICIONAMIENTO (DISEÑO ANALÓGICO). | 90 |
| FIGURA 35: PLACA PRINCIPAL (DISEÑO DIGITAL)..... | 90 |

Índice de Fotografías

| | |
|--|----|
| FOTOGRAFÍA 1: MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DEL ÁREA SENSORA. | 33 |
| FOTOGRAFÍA 2: ÁREA SENSORA TOTALMENTE HUMEDECIDA CON GOTAS DE AGUA. | 34 |
| FOTOGRAFÍA 3: MÁXIMA TENSIÓN DE SALIDA DE LA ETAPA AMPLIFICADORA | 36 |
| FOTOGRAFÍA 4: SEÑAL CUADRADA DEL 555 Y SALIDA DE LA ETAPA DE AMPLIFICACIÓN. | 72 |
| FOTOGRAFÍA 5: DETECCIÓN DE HUMEDAD | 72 |
| FOTOGRAFÍA 6: SENSOR SHH-1 CAPACITIVO. | 76 |
| FOTOGRAFÍA 7: SENSOR SUMERGIDO EN VASO DE AGUA..... | 85 |
| FOTOGRAFÍA 8: MEDIDA DE TEMPERATURA. | 85 |
| FOTOGRAFÍA 9: CONSUMO ESTACIONARIO DEL SENSOR SHH-1. | 86 |
| FOTOGRAFÍA 10: CONSUMO EN TX/RX DEL SENSOR SHH-1..... | 87 |
| FOTOGRAFÍA 11: CONEXIÓN DEL SENSOR AL PC. | 88 |

Resumen

El agua es un recurso importante para la producción agrícola y siendo un recurso escaso, son innumerables los esfuerzos a nivel mundial para gestionar su empleo de una manera sostenible.

Este trabajo estuvo pensado para dar una contribución al correcto manejo del agua en sistemas de riego agrícola, mediante el diseño de un sensor inteligente de humedad y temperatura de hoja, para luego proponer un sistema de riego automático como una aplicación hacia el riego de precisión.

Se presenta el desarrollo de un sensor capacitivo para la detección de humedad y temperatura en la hoja (cultivo). El área sensora forma un condensador cuyas placas se encuentran en un mismo plano y fueron fabricadas en un Circuito Impreso (PCB) de fibra de vidrio; además se describe la electrónica completa de acondicionamiento de la capacitancia, conversión analógica a digital y transmisión vía RS 485 embebido en un microcontrolador.

La inteligencia del sensor viene dada por la familia de normas IEEE 1451, cuya concepción pretende el desarrollo de transductores (sensores y/o actuadores) “plug and play” autoidentificables en una red de nodos interoperables e independientes entre sí (aún de fabricantes). El centro del estándar gira en torno al desarrollo, descripción e implementación de la Hoja de Datos Electrónica del Transductor (TEDS), que es una ficha técnica del transductor.

El sensor diseñado presenta buena respuesta en sensibilidad y lo hace apto para el desarrollo de un sistema automático de riego midiendo la humedad en la hoja. Las pruebas de laboratorio fueron satisfactorias en cuanto al desempeño general y se presentan fotografías e imágenes de los resultados.

Así mismo, se presenta la propuesta de un modelo de sistema de control un tanto más complejo que involucra la teoría de observadores y modelos matemáticos para futuros desarrollos en ésta área.

Se describe también el desarrollo de una aplicación sencilla para PC que se comunica con el sensor y permite el envío de comandos y la recepción de datos según el estándar IEEE 1451.

Abstract

Water is an important resource for agricultural production and being a scarce resource, there are countless worldwide efforts to manage their handling in a sustainable way.

This work was designed to give a contribution to the proper management of water in agricultural irrigation systems, by means of the design of an intelligent wetness and temperature sensor on the leaf and then to propose an intelligent irrigation system as an application to precision irrigation.

The development of a capacitive sensor is presented to detect humidity and temperature on leaves (crop). The sensor area is a capacitor whose plates are even and have been manufactured in a fiberglass PCB. In addition, the capacitance conditioning circuit, analog to digital conversion and the transmission via RS 485 embedded in a microcontroller, are described.

The intelligence of the sensor is given by the family of standards IEEE 1451, whose conception aims at developing transducers (sensors and / or actuators) "plug and play" self-identifying nodes in a network, interoperable and independent (even from manufacturers). The TEDS is the core of the IEEE 1451 standard.

The designed sensor has good sensitivity response and makes it suitable for the development of an automatic irrigation system by measuring the moisture on the leaf. Laboratory tests were satisfactory in terms of overall performance and pictures and images of the results are presented.

A proposed control system model is presented involving observers theory and mathematical models for future developments in this area.

It is also described the development of a simple application for PC that communicates with the sensor and allows sending commands and receiving data according to the IEEE 1451 standard.

Definición del Problema

Situación Actual

El 70,9% de la superficie de la tierra es de agua aproximadamente. A pesar de ello, sólo el 2,5% es agua dulce y tan sólo el 0,025% es apta para el consumo humano, puesto que gran parte se encuentra congelada en glaciares.

La organización mundial ONU-Agua, creada con el objetivo de reforzar la coordinación y coherencia en materia de recursos hídricos, expresa que *“Debemos gestionar el agua dulce de manera sostenible con el fin de que exista suficiente agua para que todas las personas puedan beber y conservar su higiene y su salud, para que los productores de alimentos puedan satisfacer la demanda de una población en continuo crecimiento, para que las industrias puedan satisfacer sus propias necesidades y para que los países tengan la oportunidad de garantizar un suministro fiable de energía”* [14]

El agua es importante para la producción agrícola y para la parquización. No obstante, es un recurso escaso y puede ser no apto para el consumo humano. Aún así, puede ser útil para el riego cuidando que no se provoquen daños irreversibles en el cultivo.

El riego y su adecuado control pueden justificarse según el tipo de aplicación. En un ámbito productivo, puede ampliar el área cultivada mientras que en un ámbito doméstico puede servir para mantener un cultivo ornamental para moderar la temperatura en ése ambiente

Existe una variedad de métodos y sistemas para la aplicación de riego (superficial, por goteo, mediante aspersores, microrriego,...) cada uno con sus ventajas y limitaciones; sin embargo, alrededor de los 90' se inició un concepto, que aún hoy continúa desarrollándose ampliamente y que trae beneficios, ahorra el elemento vital y aumenta la rentabilidad de la producción agrícola: El Riego de Precisión [2].

En áreas donde las precipitaciones por año son despreciables (clima mediterráneo o zonas desérticas), el consumo de agua para cultivos se hace indispensable. En diversas regiones del mundo se ha comprobado que complementar el riego artificial con el agua disponible de lluvias, permite un mayor

rendimiento del cultivo y mejoras importantes en la calidad de los productos finales [3].

El uso racional de los recursos naturales y la conservación del medioambiente son objetivos adicionales del avance de las innovadoras tecnologías agrícolas [5].

Hoy, la población mundial destina el 70% del agua dulce a la agricultura, entonces no es desatinada la idea de contribuir al desarrollo de sistemas tendientes a optimizar procesos donde se emplee el agua como recurso fundamental [14],[15].

Como advierte la *Revisión de Tecnologías para el Riego de Precisión y sus Aplicaciones [2]*, el riego de precisión está aún en sus inicios a nivel internacional. La no existencia de sistemas de riego en concepto de *riego de precisión a través de mediciones de variables fenológicas para su aplicación en control automático*, promueven nuevos desarrollos como el presentado en este trabajo.

Además, se pretende proporcionar un marco conceptual para futuros desarrollos en tema de riego agrícola y optimización del recurso hídrico.

Objetivos del Proyecto

Objetivo General

1. Desarrollar un sensor inteligente de humedad de hoja para integrar un sistema automático de riego en cultivos agrícolas.

Objetivos Particulares

1. Explorar diversas tecnologías para detectar la humedad en hoja y seleccionar la más adecuada.
2. Diseñar e Implementar un sensor inteligente de humedad de hoja (detector de hoja mojada)
3. Delimitar Especificaciones Técnicas del sensor desarrollado.
4. Proponer un sistema de control automático para el riego, adaptable para diferentes tamaños de cultivos empleando variables fenológicas.

Marco Teórico

Las Plantas y el Agua

“Se conoce como **evapotranspiración (ET)** la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por **evaporación** y por otra parte mediante **transpiración** del cultivo” [26].

“La **evaporación** es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación. La **transpiración** consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales” [26].

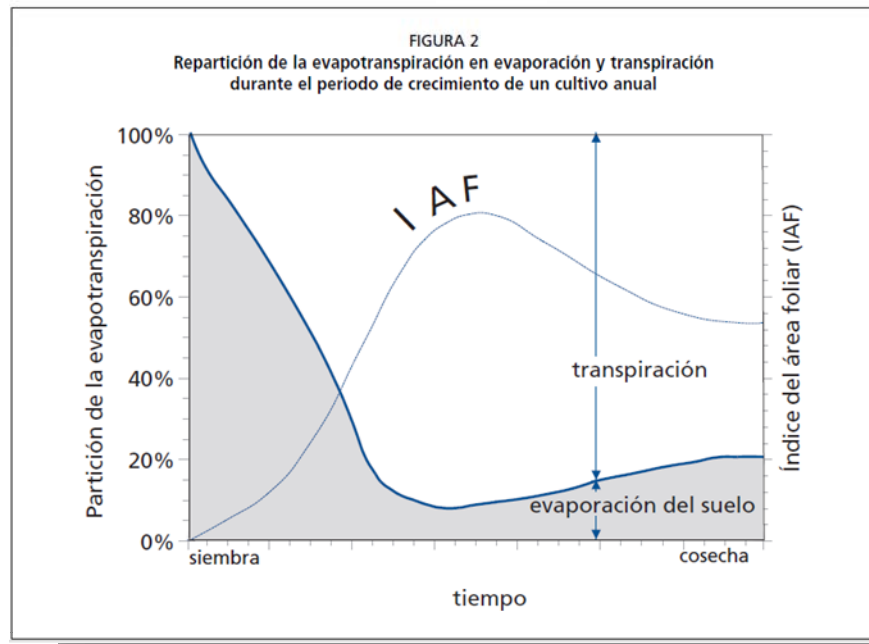


Figura 1: Evapotranspiración del Cultivo

Fuente: [26]

En la se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él (IAF). En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del de 90% de la ET ocurre como transpiración.

“La cantidad de agua que fluye a través de la planta o circula por unidad de superficie de cultivo depende de la oferta de agua del suelo, de las características estructurales y funcionales de la planta o el cultivo, y de las condiciones atmosféricas. En cada momento de su vida, el estado hídrico de la planta depende del balance entre el agua que la planta absorbe del suelo y la que pierde por transpiración. Un exceso de transpiración con respecto a la absorción determina un balance hídrico negativo, generándose así una situación de déficit cuyas consecuencias dependerán de su magnitud y duración. El estado de déficit hídrico puede influir poderosamente sobre el crecimiento y la producción de materia seca por las plantas, y por ende sobre el rendimiento de grano, forraje, madera, etc. Las plantas poseen mecanismos capaces, dentro de ciertos límites, de regular la tasa de absorción y transpiración, y consecuentemente, el balance hídrico. Los controles

más importantes en este sentido residen en el grado de apertura del poro estomático (estomas con poros reducidos restringen la pérdida de agua), la modulación de la expansión foliar (hojas más pequeñas reducen el tamaño del aparato transpiratorio), variaciones en el ángulo de inserción foliar (la carga de radiación se reduce si las hojas se orientan en paralelo a los rayos solares), en la **senescencia** y **abscisión** de una parte de las hojas (reduce el tamaño del aparato transpiratorio) y cambios en la relación área foliar/extensión de raíces (lo que modifica el balance absorción-transpiración). En las plantas superiores existe una gran variación en lo que respecta a la capacidad de extracción de agua del suelo, a la regulación del ritmo transpiratorio y a la influencia de los déficits hídricos sobre el crecimiento y el rendimiento. Depende del hombre y de su conocimiento de la cuestión, el aprovechamiento de la diversidad que la naturaleza ofrece” [27].

“El manejo de la economía del agua en la vegetación implica una serie de prácticas: riego, barbecho, elección de especies, variedades, densidades y épocas de siembra, decisiones acerca del momento de pastoreo o corte, etc. Puede estar orientado a cumplir distintos objetivos, como ser: producir el máximo de materia seca independientemente de la cantidad de agua en relación a la materia seca producida, etc. Las decisiones en cada caso particular deberán estar basadas, entre otras cosas, sobre un conocimiento de la interacción planta y ambiente a través del ciclo de la primera, y de cómo los déficits hídricos pueden condicionar la probabilidad de alcanzar las metas propuestas” [27].

La Electrónica

En el área de electrónica, se enmarca en el campo de la Instrumentación Electrónica y el Control Automático. En el primero a nivel técnico-funcional y en eso segundo a nivel teórico, ambos enfocados en una aplicación práctica hacia el riego automático de cultivos agrícolas.

Un sistema es un conjunto de partes organizadas para realizar una función determinada. Cuando se trata de un sistema electrónico, las funciones respectivas se realizan en forma electrónica.

“La instrumentación comprende todas las técnicas, equipos y metodologías relacionados con el diseño, construcción y aplicación de

dispositivos físicos para mejorar, completar y aumentar la eficiencia de los mecanismos de percepción del ser humano.” [1]

La Medición

“La medida consiste en la determinación de una magnitud por comparación con un estándar” [1]. Se debe realizar con un **Sistema de Medida** que sea eficiente con el menor error posible.

En el diseño de la cadena de medida se deben tener en cuenta características inherentes al sistema como la obtención de señales de salidas estándares, resolución suficiente según los requerimientos finales y determinar intervalos de muestreo sin saturar las líneas de transmisión ni sobre cargar al sistema en general.

A su vez, eliminar las fuentes de error y reducir costos, son esfuerzos extras en cada una de las etapas del sistema de adquisición. En la Figura 2 se muestra las funciones principales de un sistema de medida electrónico:

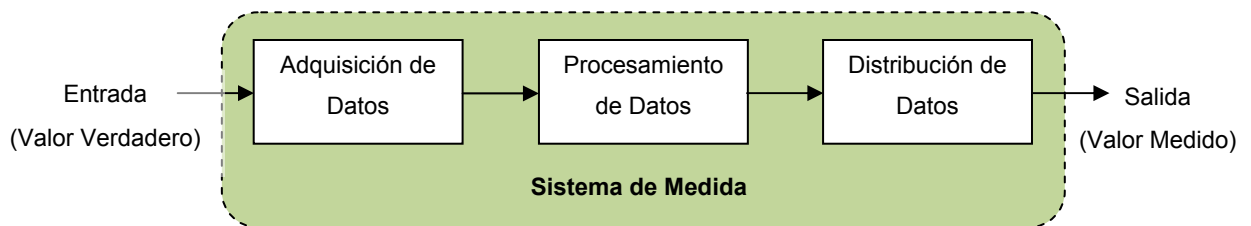


Figura 2: Funciones Principales de un Sistema de Medida

Fuente: [1]

La variable de entrada al sistema de medida sería el **valor verdadero** (temperatura, presión, velocidad, pH, intensidad de luz, cantidad de lluvia, etc.) y la que es susceptible de ser medida; la salida obtenida, el **valor medido**.

En la **Adquisición de Datos**, la información de las variables a medir es adquirida y convertida a una señal eléctrica útil (tensión, corriente, frecuencia, etc.). En gran medida, las prestaciones del sistema dependen de ésta etapa.

El **Procesamiento de Datos** consiste en la manipulación de la información según los fines perseguidos. Suele ser realizada por un procesador digital tipo microcontrolador ó procesador digital de señal (*Digital Signal Processor* ó DSP)

El valor medido se presenta al observador a través de la **Distribución de Datos**. Por ejemplo, mediante un display, datalogger ó pc, ó bien se transmite a otro sistema ó se almacena.

Sensores

La función de adquisición de datos de la Figura 2, puede ser dividida en unidades funcionales más pequeñas como lo muestra la Figura 3:

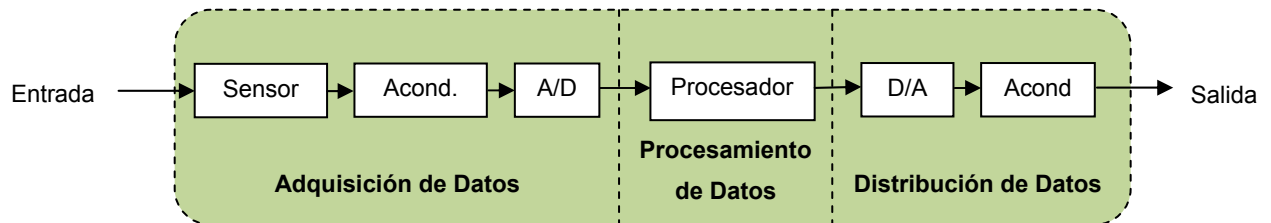


Figura 3: Elementos de un Sistema de Medida

Fuente: [1]

En primer lugar, la variable del mundo físico es convertida en una magnitud eléctrica mediante un dispositivo **sensor** a fin de poder ser procesada adecuadamente. En este punto cabe hacer una aclaración entre lo que es un sensor y un **transductor**. Llamaremos sensor o “captador” al dispositivo que convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica (el sensor está siempre en contacto con la variable a medir); el término transductor es quizás el más amplio, conteniendo una parte sensible y un circuito de acondicionamiento de la señal detectada cuya salida es una señal eléctrica. Por ejemplo, un sensor sería un potenciómetro (detectamos posición angular y convertimos a resistencia eléctrica); ahora, si a este potenciómetro lo conectamos a una fuente de tensión en sus extremos, se formará un divisor resistivo, y desde su punto medio obtendríamos una tensión proporcional a la variación angular, tenemos un transductor de esta manera. Pese a las sutiles diferencias, es común emplearlos como sinónimos. En este trabajo, se empleará indistintamente a menos que se indique expresamente lo contrario.

En los procesos de producción existen una gran variedad de sensores según la magnitud que se desee medir. Éstos se describen por una serie de parámetros en los que las más importantes son:

- Curva de calibración;
- Salida a fondo de escala;
- Campo de medida;
- Sensibilidad;

- Resolución;
- Exactitud;
- Error de medida;
- Tiempo de establecimiento y
- Calibración.

Transmisión de la Información

En ocasiones, cuando las variables a medir se encuentran separadas una cierta distancia del lugar donde esa información va a ser utilizada, se necesita que dicha información recorra distancias mediante un proceso que puede denominarse “transmisión de la información” [1].

Conceptualmente el proceso de transmisión se puede apreciar en la Figura 4:

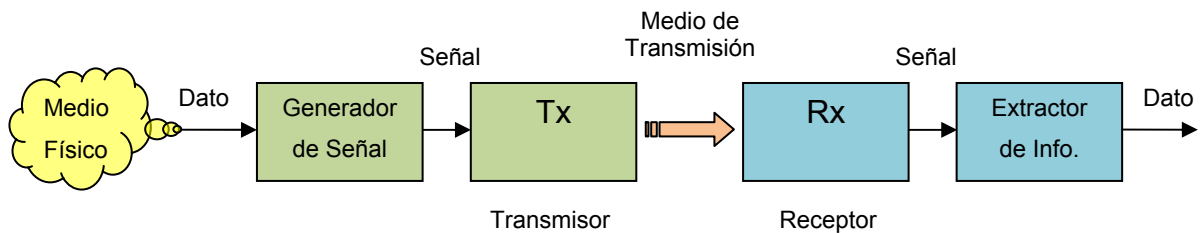


Figura 4: Diagrama en bloques de un sistema de transmisión de información general

Fuente: [1]

Cabe destacar que un importante elemento en el proceso de transmisión es el “camino” por el que propagará la información (las señales) desde el emisor hasta el receptor: el **medio de transmisión**.

Las señales viajan por el medio de transmisión y actúan como soporte de la información útil; a su vez, el medio de transmisión actúa como contenedor de dichas señales.

Las características del medio de propagación en ingeniería no es un caso menor a la hora de diseñar y de ello dependerán los costos y las prestaciones del sistema en conjunto.

Para este trabajo se adoptó la tecnología de transmisión alámbrica por el estándar EIA/TIA 485 (más conocido como RS485) por tratarse del desarrollo de un prototipo y contar con los dispositivos necesarios para la implementación, pudiendo compatibilizarlo con otras tecnologías alámbricas como la SDI12 ó inalámbricas

como GPRS, vía radio-módem VHF/UHF, etc., como se ha desarrollado en otros trabajos [25].

Las principales características de este estándar se enumeran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Características del Estándar RS-485

| Características del Estándar EIA/TIA 485 | |
|---|--|
| Modo de operación | Diferencial- Full o half duplex - Multipunto |
| Número máximo de Tx | 32 |
| Número máximo de Rx | 32 |
| Máxima longitud del cable | 1200 m |
| Máxima velocidad de transmisión | 10 Mbps (12 m) |
| Mínima salida con carga | +/- 1,5 V |
| Máxima salida sin carga | +/- 5 V |
| Corriente máxima en cortocircuito | 250 mA |
| Impedancia de carga de Tx | 54 Ω |
| Sensibilidad en la entrada en Rx | +/- 200 mV |
| Máxima resistencia de entrada | 12 K Ω |
| Rango de voltaje de entrada en Rx | -7 V a +12 V |
| Nivel alto en Rx | > 200 mV |
| Nivel bajo en Rx | < 200 mV |

Fuente: elaboración propia de diversas fuentes (incluida el estándar).

Transductores inteligentes y el Estándar IEEE 1451

En la actualidad existen multitud de redes de sensores cuyos datos pueden ser consultados incluso a través de Internet, pero el problema radica en que cada red utiliza sus propios estándares, protocolos y formatos de representación de datos [30].

Acercar cada vez más la inteligencia al punto de medida, evitando así la transmisión de señales analógicas, fue y sigue siendo el objetivo de los sistemas de medida. Un sensor puede considerarse inteligente si, además del sensor propiamente dicho, incorpora o realiza alguna(s) de las siguientes funciones [1]:

- Acondicionamiento analógico.
- Conversión analógica – digital.

- Procesamiento primario de la información (validación, linealización, etc.)
- Conversión a unidades de ingeniería.
- Auto identificación.
- Auto diagnóstico.
- Salida de datos digital en unidades de ingeniería.
- Comunicación con una red digital.

Las compañías productoras de sensores y sistemas de medida se encontraron ante la necesidad de lograr ciertos estándares en lo referente a la compatibilidad de los sistemas. Así surge, en 1997, el estándar IEEE –1451 desarrollado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) y el comité del Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (IEEE). La Figura 5 muestra el modelo propuesto como referencia y la relación entre las diversas familias del estándar 1451.

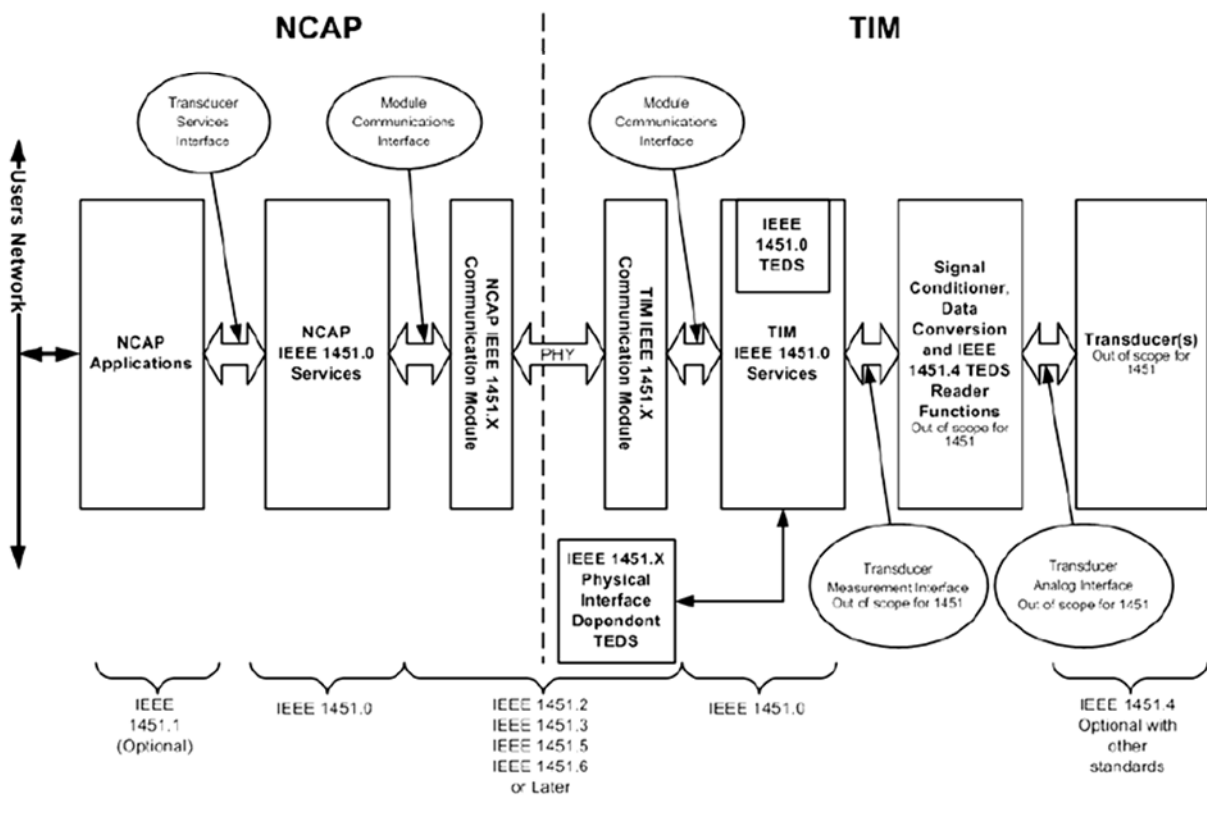


Figura 5: Modelo de Referencia del Estándar IEEE 1451

Fuente: [31]

La norma, mediante su estándar 1451.2, divide al esquema general del sensor (Figura 3) en la forma presentada en la Figura 6:

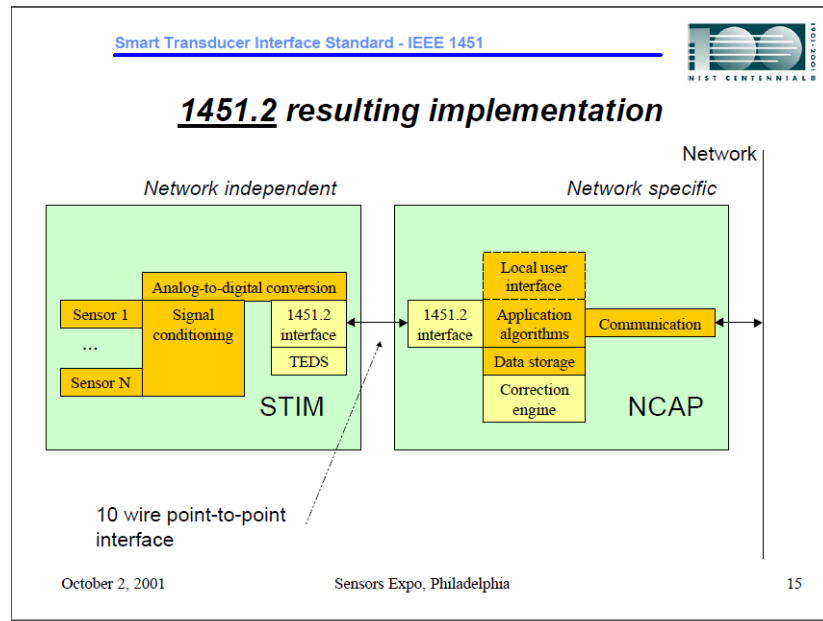


Figura 6: Esquema General de un Transductor Inteligente según el Estándar IEEE 1451.2

Fuente: [28]

El sistema de la izquierda denominado **STIM** contiene el sensor o sensores, el acondicionamiento, la conversión A/D, un puerto serie para el intercambio de información y una parte de memoria llamada TEDS que almacena información sobre el (los) sensor(es), en forma de tabla organizada por campos tales como datos del fabricante, parámetros que mide, precisión, datos de calibración, datos de conversión a unidades de ingeniería, etc. El sistema de la derecha llamado **NCAP** es el encargado de administrar la comunicación con la red.

Panorama de la Familia de Estándares IEEE 1451

IEEE 1451 es el estándar para sensores inteligentes (*smart sensors*) desarrollado por la IEEE en conjunción con el NIST. Desde que se llegó a un acuerdo para crear un interfaz común de comunicación para transductores (sensor ó actuador), se han formado distintos grupos de trabajo para abordar diferentes aspectos de la norma; estos incluyen [29] [30]:

- **IEEE 1451.0-2007** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores – Funciones Comunes, Protocolo de Comunicaciones y Formatos de la Hoja de Datos Electrónica de Transductor (TEDS) [31]
- **IEEE 1451.1-1999** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores – Define las Funciones de NCAP y especifica Modelos de Objetos, de Datos y de Comunicaciones con la Red.

- **IEEE 1451.2-1997** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores – Define Protocolos de Comunicación del Transductor hacia el Microprocesador y Formatos de TEDS [32].
- **IEEE 1451.3-2003** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores – Define Comunicaciones Digitales y Formatos de TEDS para Sistemas Distribuidos Multidrop
- **IEEE 1451.4-2004** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores – Define Protocolos de Comunicación en Modo Mixto y Formato de TEDS.
- **IEEE 1451.5-2007** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores – Define Protocolos de Comunicaciones Inalámbricas y Formatos de TEDS.
- **IEEE 1451.6-En Desarrollo** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores –Define Protocolos de Comunicación para el Bus CAN de alta velocidad Y Formatos de TEDS.
- **IEEE 1451.7-2010** Estándar para una Interfaz de Transductor Inteligente para Sensores y Actuadores –Define Protocolos de Comunicación para Transductores en Sistemas RFID (Identificación por Radiofrecuencias ó Radio Identificación) y Formatos de TEDS.

De todos los miembros de IEEE 1451 que se acaban de describir brevemente, el IEEE 1451.0 y el IEEE 1451.2 son los miembros en los que se centra este proyecto. Se describirán sus funcionalidades y características más a fondo en capítulos posteriores.

BREVE CONCLUSIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 1451: El propósito subyacente de esta familia de normas es permitir a los fabricantes que los elementos construidos de un sistema sean interoperables [30], así como también desarrollar interfaces de transductores independientes de las redes y de las empresas manufactureras. Además, permite a los transductores ser reemplazados ó reposicionados con el mínimo esfuerzo; desarrolla la TEDS (el corazón del estándar) que permanece en el sensor cuando este está en funcionamiento; autoidentificación en una red de sensores; “*plug and play*”, entre otras características.

Capítulo 1

Antecedentes

Sensores de Humedad de Hoja: Tecnologías de Detección

El Contenido de Agua en la Vegetación (CAV), en inglés *Vegetation Water Content (VWC)*, es un importante parámetro en la agricultura [11]. La medición o estimación de éste parámetro provee información que puede ser usada para determinar el calendario de riego, para auxiliar la estimación de la cosecha, para evaluar condiciones de sequía e inclusive determinar riesgo de incendios [11], incluso para el manejo y monitoreo de plagas detectando el tiempo de remanencia de agua en las hojas [7].

La conjunción sensorial en un algoritmo de control permite aplicar la cantidad de agua necesaria al cultivo, y dará lugar a un riego de precisión [2], generando los beneficios de optimizar el uso del agua, incrementar áreas cultivables o reducir costos de producción.

El detectar la humedad presente en la hoja y estimar cuantitativamente su contenido es un tema actual y de investigación activa [11],[12]. En la revisión de los métodos de medición de VWC de [12], se destacan:

1. Mediciones desde satélites.
2. Definiciones de VWC.
3. Mediciones desde aviones.
4. Método por la Cámara de Scholander.
5. Medición con radiación en terahertz.
6. Medición con sonda de turgencia en hoja.
7. Medición con sensores de reflectancia solar.
8. Medición con cuadripolo electrostático.
9. Otros métodos de medición.
10. Propuesta INAUT: Sensor capacitivo.

1.1.1. Mediciones desde Satélites

Los satélites permiten proveer cubrimiento local y global con costos aceptables y en áreas remotas en las cuales es imposible realizar mediciones terrestres. A bordo de los satélites se han instalado diversos sensores que captan los diversos espectros de la reflectancia solar de la superficie de la tierra. Los elementos

sensoriales pueden clasificarse en **1)** Del visible al infrarrojo cercano; comprendido entre los 400 y 2500 nm. Puede proveer información de contenido de clorofila, índice de área de hoja (en inglés *Leaf Area Index LAI*) y el contenido de VWC. **2)** Infrarrojo térmico. Espectro entre 6 y 15 μm . Utilizado para estimar la evapotranspiración de la canopia, el follaje de la vegetación y la dinámica térmica de la cubierta vegetal. **3)** Radar. Ubicado entre 0,1 y 100 cm. Provee información sobre la constante dieléctrica, la cual podría estar relacionada con el contenido de agua de la vegetación VWC.

1.1.2. Definiciones de VWC

Las siguientes definiciones se han empleado para determinar cuantitativamente el VWC:

FMC (Fuel Moisture Content), Contenido de Humedad Abastecido al cultivo. Se define como la relación entre la cantidad de agua y el peso fresco o peso seco (según cada autor).

$$FMC = \frac{FW - DW}{FW(\text{ó } DW)} \times 100\%$$

Donde *FW (Fresh Weigth)* es el peso fresco de una muestra tomada en terreno y *DW (Dry Weigth)* es el peso de la misma muestra secada en un horno a 40°C hasta que el peso no varía.

EWT (Equivalent Water Thickness) Espesor de Agua Equivalente. Se define como la relación entre el contenido de agua de una hoja y el área de la misma.

$$EWT = \frac{FW - DW}{A} (g \cdot cm^{-2}) \text{ ó } (cm)$$

Donde *A* es el área de la hoja.

1.1.3. Mediciones desde aviones

Diversos estudios indican el empleo de la temperatura de la vegetación como indicador de estrés hídrico, para monitorear la conductancia estomática y estimar índices de transpiración en las plantas.

Los sensores aerotransportados detectan bandas espectrales en la región del infrarrojo térmico y permiten realizar mediciones con alta resolución espacial

(tamaño del píxel de 1 a 2 metros), en comparación con los instrumentos de teledetección que no permiten esa elevada resolución espacial.

1.1.4. Método por la Cámara de Scholander

Es el método manual tradicional para determinar el estado hídrico de un cultivo. Consiste en el empleo de una Cámara de Scholander por medio de la cual es posible cuantificar el potencial hídrico de la hoja. Éste método es destructivo y no puede ser empleado en línea, por ello no son útiles para el control automático.

1.1.5. Medición con radiación en terahertz

Se basa en mediciones de la transmisión de radiación en terahertz a través de una hoja; con un transmisómetro a 94GHz, se encontró una cierta dificultad al requerir simultáneamente la medición del espesor de la hoja, además de discrepancias debido a la posición de la hoja. Una ventaja es que se trata de un método no invasivo.

1.1.6. Medición con sonda de turgencia en hoja

Se inventó una sonda en forma de broche que se prende a una hoja. Se diseñó para que ejerciera una presión constante de modo tal que cuando aumente el contenido de agua en la hoja, ésta ejerza una fuerza en un sensor semiconductor. Se considera un método no invasivo aunque no se describieron los efectos prolongados de su uso en la hoja.

1.1.7. Medición con sensores de reflectancia solar

Comercialmente existen instrumentos para medición en terreno de *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*), índice de verde relacionado con la clorofila y otros índices. El *NDVI* se define como:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$$

Donde R_{NIR} es la radiación reflejada en el infrarrojo cercano (*Near Infra Red*) y R_{RED} es la reflejada en el rojo.

Los sensores pueden ser calibrados entre 280 y 110 nm, incluso en diferentes bandas.

1.1.8. Medición con cuadripolo electrostático

Se desarrolló un cuadripolo electrostático que permite medir la permitividad dieléctrica de un medio, aplicado para medir el contenido de agua en granos de trigo para detectar el momento óptimo de cosecha. Consiste en cuatro electrodos cuadrados de 40 cm de lado montados en una estructura de caños plásticos con ruedas. En dos electrodos se generan cargas estáticas de signo opuesto, polarizando el medio. Los otros dos electrodos miden la diferencia de potencial entre ellos y su tensión media depende de la permitividad dieléctrica del medio.

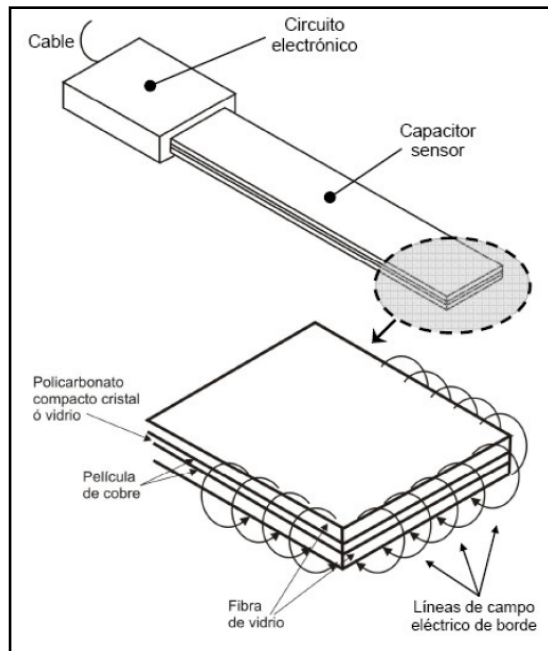
1.1.9. Otros métodos de Medición

Entre otros métodos para determinar el contenido de agua en hoja se mencionan, mediante podómetros, que miden la resistencia o conductividad hidráulica en la superficie de las hojas; el empleo de *LVDT's (Linear Variable Differential Transformes)* en broches y fibra óptica aplicados a para determinar el espesor de la hoja. La técnica de *NMR (Nuclear Magnetic Resonance)*, Resonancia Magnética Nuclear, también se desarrolló en laboratorios pero las dimensiones del instrumento no permite su uso en terreno.

1.1.10. Propuesta INAUT: Sensor Capacitivo

En el Instituto de Automática (INAUT) de la Universidad Nacional de San Juan, se desarrolló un sensor de humedad del suelo de tecnología capacitiva (Figura 7). Éste sensor se basa en la medición de la permitividad dieléctrica del medio (suelo en estado seco: permitividad relativa $\epsilon_r = 3 a 4$; suelo húmedo: permitividad relativa $\epsilon_r = 80 a 85$ [11]).

Apoyándose en ésta experiencia y tomando como referencia el cuadripolo electrostático, se desarrolló en el INAUT un sensor con solamente dos electrodos enfrentados formando un capacitor de placas planas paralelas (Figura 8). El método presenta las ventajas de no ser invasivo, de poder realizar una medición continua para el envío de datos, y mide sobre una gran cantidad de hojas, por lo que se hace más representativo del contenido de agua de la canopia. Tiene las desventajas de que se necesita implementar un sistema electrónico que elimine los efectos



producidos por las capacidades parásitas y que el sistema mecánico de soporte debe mantener las placas siempre paralelas a pesar de las condiciones climáticas y el desarrollo del cultivo.

Figura 7: Sensor Capacitivo de Humedad de Suelo (INAUT)

Fuente: [3]



Figura 8: Placas del Capacitor Plano con planta Achira (INAUT)

Fuente: [11]

La revisión de los métodos y tecnologías para estimar el contenido de agua en las hojas concluye que hasta ahora ninguno de ellos es apropiado para su aplicación en sistemas de control automático del riego agrícola [12]. Además, el desarrollo de un sensor que tenga las características de no ser invasivo, que permita mediciones continuas en línea y que sea representativo del estado hídrico del cultivo, es un tema de investigación y desarrollo activo a nivel mundial [12].

Sensores Comerciales

Por más de dos años, la firma **Decagon Devices** [16], ha trabajado en el desarrollo de un sensor dieléctrico de humedad de hoja (Figura 9). Con un diseño innovador, el sensor imita a una hoja real incluso en su espesor de 0,65mm de fibra de vidrio y su capacidad calorífica. En 2006 presentó su prototipo con aplicaciones hacia el control y monitoreo de plagas y enfermedades, modelado y para la investigación en ecología y agricultura (como estimar el tiempo de cosecha y cuantificar el tiempo de almacenamiento del agua en el follaje); teniendo en estos últimos años una fuerte tendencia hacia la conservación de estatuas y edificios en climas húmedos.



Figura 9: Sensor de Humedad de Hoja de Decagon Devices

Fuente: [16]

Las especificaciones técnicas de este sensor son:

- Tipo de sensor: dieléctrico.
- Tiempo de medida: 10 ms.
- Alimentación: 2 Vdc a 5Vdc.
- Consumo: 8 mA.
- Salida: 250 a 1500 mV.
- Entorno Operativo: -10°C a 60°C.
- Vida Útil prevista: +2 años de uso continuo.
- Longitud del cable: 5 m, con extensión disponible.
- Tipo de conector: plug 3,5 mm.
- Compatibilidad con *dataloggers*.

Diversas tiendas *on-line* [17],[18], además de *Decagon Devices*, comercializan este modelo de sensor.

La compañía **Davis International Perú S.A.** [19], dedicada a la comercialización de estaciones meteorológicas y agrometeorológicas, ofrece un modelo resistivo para el *sensado* de la humedad en la hoja (Figura 10).



Figura 10: Sensor de Humedad de Hoja de Davis

Fuente: [19]

El sensor consiste en una grilla bañada en oro y plata con un circuito que detecta la conductividad. El sensor incluye un soporte a 45° y simula ser una hoja típica y tiene una salida de nivel de humedad en una escala de 0 a 15.

Las especificaciones técnicas de este sensor son:

- Tipo de sensor: resistivo.
- Tiempo de medida: 2 s.
- Alimentación: bipolar (3 Vdc) incorporados.
- Salida: 2,5 Vdc a 3 Vdc.
- Rango: 0 (seco) a 15 (mojado).
- Resolución: 1.
- Precisión: $\pm 0,5$.
- Longitud del cable: 12 m, con extensión máxima recomendable de 61 m.
- Tipo de conector: rj-11.
- Dimensiones (longitud x ancho x alto): 102x58x58 mm.
- Área sensora: 28 cm².
- Peso: 400 gramos.
- Compatibilidad con estación meteorológica de la misma firma.

Cavadevices.com [20], es una empresa Argentina que desarrolla equipos electrónicos específicos para la industria y la investigación. En su mayoría estos productos tienen conectividad con la PC y están aptos para trabajar inalámbricamente (red GPRS). Recientemente, han diseñado un sensor de humedad de hoja llamado **SHM-1 (Sensor de Hoja Mojada - Figura 11)**, con el principio de funcionamiento dieléctrico. Adicionalmente, este dispositivo posee un sensor de temperatura siendo especialmente útil para observar el paso del agua de la superficie a hielo. Calibrado, puede medir el contenido de agua en granos.



Figura 11: Sensor de Hoja Mojada de Cavadevices.com

Fuente: [20]

Algunas de las **especificaciones técnicas** de este sensor son:

- Tipo de sensor: dieléctrico.
- Salida: 170 mVdc a 300 mVdc (inmerso en agua entrega unos 600 mVdc).

Si bien éstos son sensores de humedad en hoja, ninguno de ellos expresa en su hoja de datos la aplicabilidad en sistemas automáticos de riego, aunque si tienen conectividad con diferentes dataloggers.

Un modelo atractivo de sensor (Figura 12) ofrece la compañía **SIAP+MICROS S.r.l. [24]** (establecida en 2003 de la unión de SIAP Bologna -Bologna – Italy, y MICROS -San Fior – Italy), líderes en el Mercado de Sistemas de Monitoreo Medioambiental.



Figura 12: Sensor de Humedad de Hoja de SIAP+MICROS

Fuente: [24]

Especificaciones Técnicas:

- Sensor ON/OFF, de principio resistivo; cuando su superficie se encuentra húmeda (por lluvia, rocío o hielo), el sistema cierra un contacto de salida.
- Tipo de sensor: resistivo.
- Tiempo de medida: 1 s.

- Alimentación: 12 Vdc .
- Corriente de Alimentación: 1mA OFF; 10mA ON.
- Rango: Sensor ON/OFF de salida a relé.
- Temperatura de Funcionamiento: 0 a 70°C.
- Longitud del cable: 12 m.
- Materiales: pistas de oro, placa de fibra de vidrio soporte de acero inoxidable.
- Dimensiones (longitud x ancho x alto): 135x67x232 mm
- Área sensora: 44,89 cm².
- Peso: 410 gramos.
- Conector: IP69, tetrapolar, macho.
- Accesorios: cable de 5 ó 12 m, soporte y certificado de calibración en laboratorio.

Capítulo 2

Memoria

Descriptiva

Desarrollo del sensor de humedad en hoja

El sensor consiste en un dispositivo electrónico que se coloca a la altura del follaje del cultivo y con una inclinación promedio de acuerdo a la ubicación de las hojas, así medirá la humedad sobre las hojas e imitará su escurrimiento. Principalmente consta de dos partes (Figura 13):

El Área Sensora (el sensor propiamente dicho, también llamado a veces hoja electrónica) diseñada a partir de un condensador cuyas placas se encuentran en un mismo plano. Su capacidad varía al existir un cambio en el dieléctrico en las cercanías de ellas.

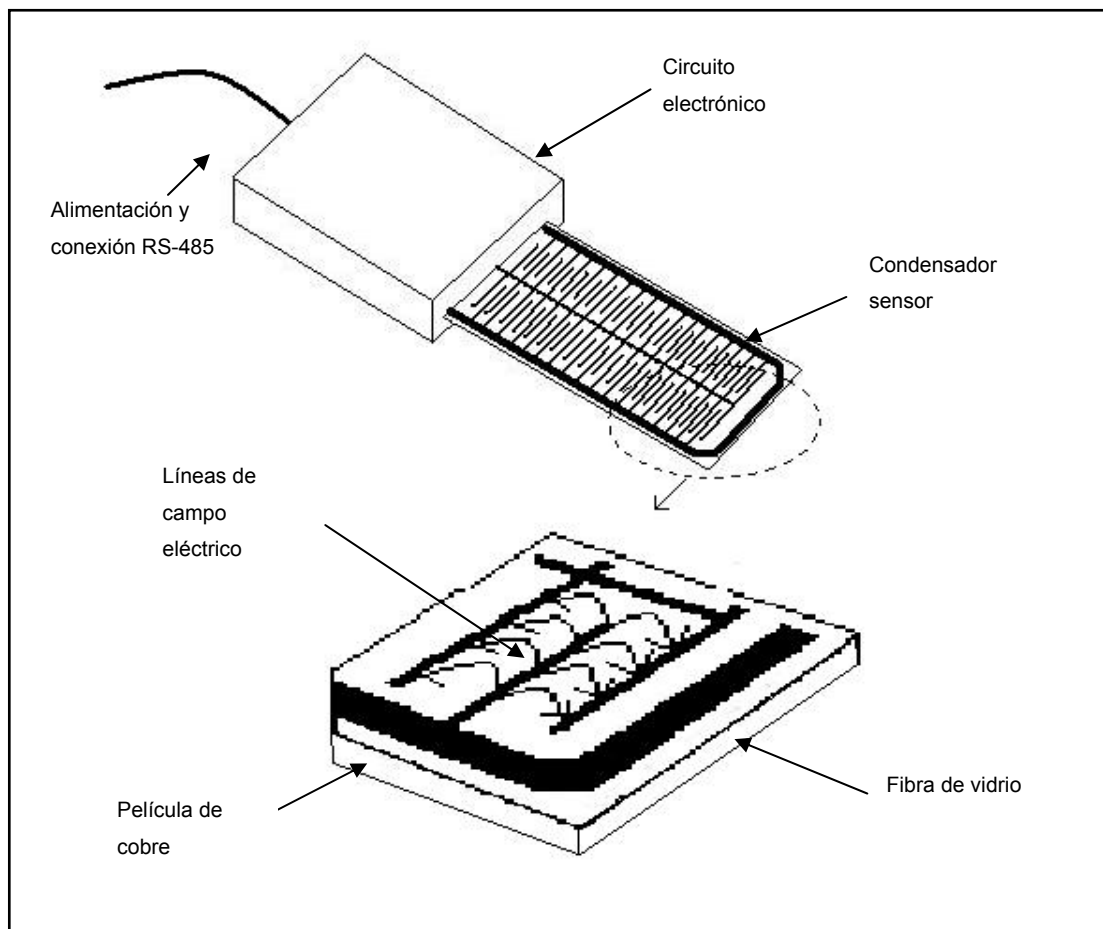


Figura 13: Cuerpo de Sensor Capacitivo de Humedad de Hoja

Fuente: Elaboración propia.

La segunda parte es el circuito electrónico que convierte el valor de capacitancia a una señal eléctrica útil y la adapta para ser transmitida vía RS-485. Además se incluye un sensor de temperatura para determinar la temperatura en la hoja. El circuito en diagramas de bloques se ilustra en la Figura 14.

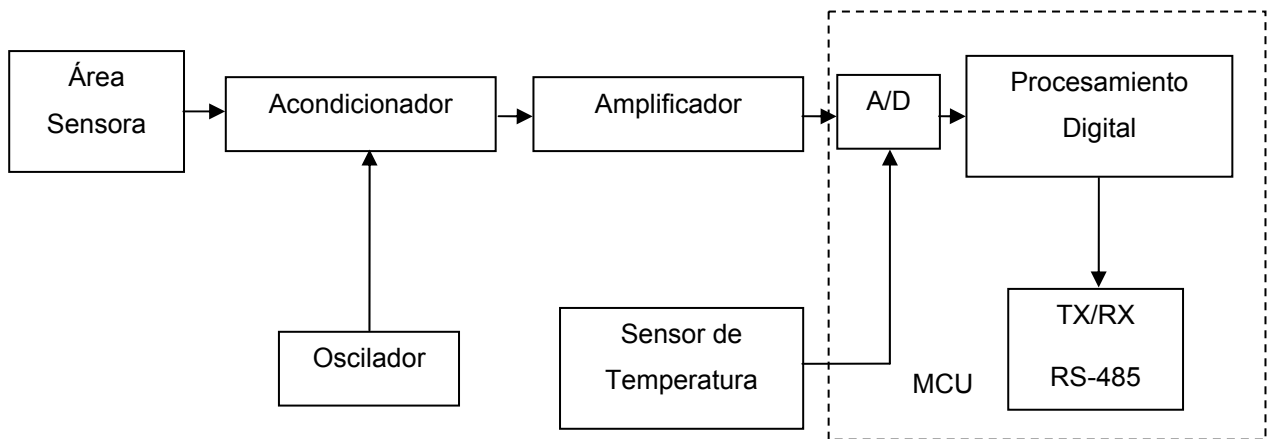


Figura 14: Esquema Interno del Sensor Desarrollado.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.1. Descripción del Principio de Funcionamiento

Se trata de un sensor capacitivo cuyas placas se encuentran en un mismo plano. Las placas están diseñadas en un circuito impreso de fibra de vidrio y pistas de cobre las que son aisladas primeramente con flux protector para circuitos impresos y luego con pintura epoxi, de este modo se consigue el efecto capacitivo buscado.

La forma del **área sensora** (Figura 15) fue trazada de manera de obtener una mayor capacidad ya que al principio del diseño se concibió la idea de tener dos “E’s” enfrentadas (como lo muestra la Figura 15 Der.) no llegando a superar los 20 pF. Capacidades tan pequeñas son fácilmente influenciadas por las conexiones, distancia entre cables y/o pistas, etc, por ello se optó por diseñar un condensador de mayor capacidad (y dimensiones) como lo muestra la Figura 15 (izquierda).

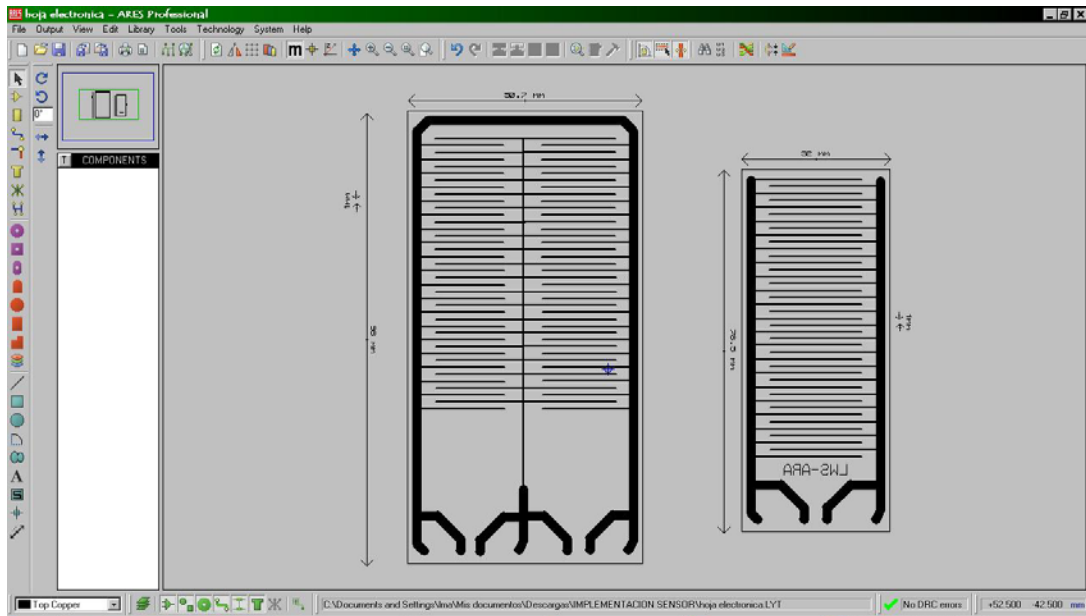


Figura 15: Área Sensora del Dispositivo.

Fuente: Elaboración propia (ARES, Proteus 7-Labcenter Electronics)

- Dimensiones finales de la hoja electrónica (Figura 15 Izq.):
- Largo total: 98 mm.
- Largo Efectivo: 60 mm
- Ancho total: 51 mm.
- Separación entre placas: 1 mm
- Área de superposición efectiva: 1,5 cm.
- Número de placas: 80.

Con estas dimensiones se tiene un condensador de 50 pF. Al variar la constante dieléctrica del medio que lo rodea (neblina, rocío, lluvia, nieve e incluso hielo), la capacidad cambiará. Se sabe que la constante dieléctrica del aire es de aproximadamente 1 y la del agua es en promedio 80; esto significa que la variación en capacidad será de 80 a 1, lo cual nos permitirá distinguir perfectamente el nivel de humedad presente en la hoja. El Anexo II presenta el PCB del Condensador.

2.1.2. Descripción del Circuito Electrónico

En las siguientes secciones, se describirá el diseño de los distintos bloques que componen al sensor con referencia a la Figura 14.

2.1.2.1. Acondicionamiento de la Capacitancia

En la etapa de **acondicionamiento**, la medición de capacitancia debe hacerse con un circuito que sea inmune a las capacidades parásitas [11]; es así que en textos consultados de Instrumentación Electrónica [23], se propone para la transducción de capacitancia el siguiente circuito a base de un amplificador operacional denominado amplificador de carga (Figura 16):

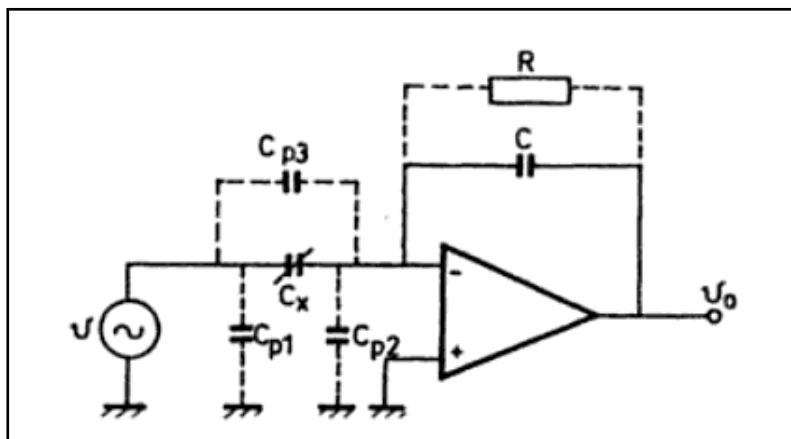


Figura 16: Amplificador de Carga

Fuente: [23]

La capacidad parásita C_{p3} se puede reducir apantallando los cables de conexión del sensor; las capacidades C_{p1} y C_{p2} debidas a los cables de conexión no influyen en la medida aunque una C_{p2} muy alta podría hacer que el circuito oscile. Con este circuito se han medido capacidades de hasta 0,03 pF [11],[23].

El resistor R de realimentación se emplea como camino para las corrientes de polarización y además mantiene la estabilidad del circuito.

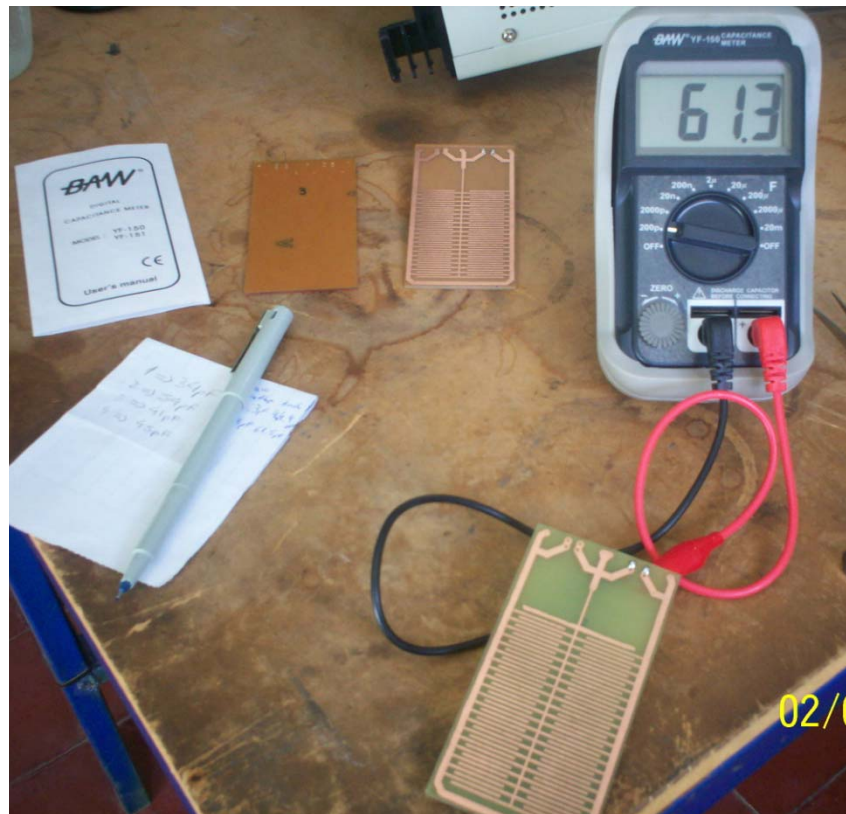
La salida que tenemos es:

$$v_o = -v_i \frac{C_x}{C} \quad 1$$

Donde C_x viene a ser nuestro condensador diseñado y $V_i = V$. Se observa una relación lineal entre la salida y la capacitancia.

La capacitancia a acondicionar varía en un rango promedio entre $61,14 \pm 4,56$ pF y $6,54 \pm 3,33$ nF (al aire libre y sumergido en agua respectivamente) medidos con un capacitómetro *BAW YF-150*.

La Fotografía 1 muestra en procedimiento de medida de la capacidad del área sensora con el aire como dieléctrico (placa de fibra de vidrio). Previamente, se debe *setear* a cero (calibración de cero) el capacitómetro; para tal función el instrumento posee una perilla de ajuste; se debe descargar completamente el condensador a medir, conectarlo a las puntas de pruebas y leer el valor en el display. También se pueden observar las distintas placas fabricadas para pruebas (Fotografía 1).



Fotografía 1: Medición de la Capacidad del Área Sensora.

Como se verá más adelante, el oscilador está centrado a 10 KHz, a esta frecuencia, se cumple la ecuación $v_o = -v_i \frac{C_x}{C}$ 1). El estado en alto es de unos 5 Vdc y el estado bajo es de 0 Vdc.

Cuando el sensor está al aire libre, tiene una capacidad aproximada de 61 pF, es decir el ambiente está seco. Según 1, el valor que adoptemos para el condensador C determinará el nivel de salida del amplificador de carga. Experimentalmente se comprobó que este componente aporta directamente a la sensibilidad del sistema sensor en su conjunto. Se adoptó el valor de $C = 10$ pF ya que se observa la máxima sensibilidad. La salida obtenida y en condiciones de laboratorio fue de unos 15 mV.

La máxima salida en tensión se obtuvo al rociar la superficie sensora con gotas de agua (Fotografía 2); ésta tensión fue de unos 500 mV.



Fotografía 2: Área sensora totalmente humedecida con gotas de agua.

2.1.2.2. Etapa de Amplificación

La etapa de **amplificación** consta de un amplificador no inversor con operacional.

El esquema se muestra en la Figura 17:

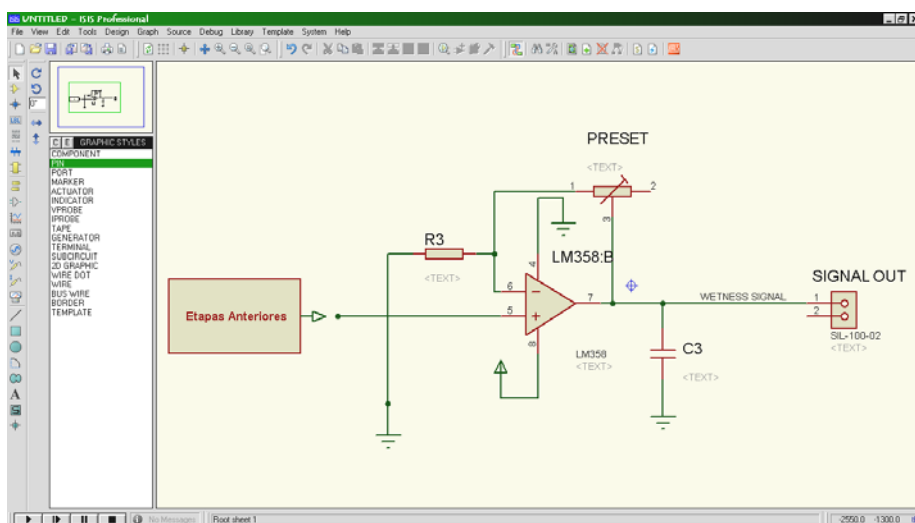


Figura 17: Amplificador No Inversor

Fuente: Elaboración propia (ARES, Proteus 7-Labcenter Electronics)

De la etapa de acondicionamiento obteníamos una señal proporcional a la capacitancia en un rango de 15 mV a 500 mV (seco y húmedo respectivamente). De esta forma, se necesita amplificar esta señal de tensión para posteriormente convertirla a digital y procesarla.

El amplificador operacional se alimenta con una tensión simple de 5V (el CI LM358 nos permite realizar este modo de alimentación), pudiendo prescindir de una fuente doble y del acarreo de un cable más para alimentar el sensor.

Si se desea tener una salida de 5V, la relación para este amplificador será:

$$v_o = m \cdot v_i$$

Donde m es la ganancia del amplificador dada por el valor de los resistores $R3$ y $PRESET$ (resistor variable multivuelta) de la Figura 17.

La ganancia del amplificador no inversor es:

$$m = 1 + \frac{PRESET}{R3}$$

Si se define a $PRESET$ como R_{PRE} , se tiene:

$$m = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_{PRE}}{R3} = \frac{5V}{0,5V} = 10$$

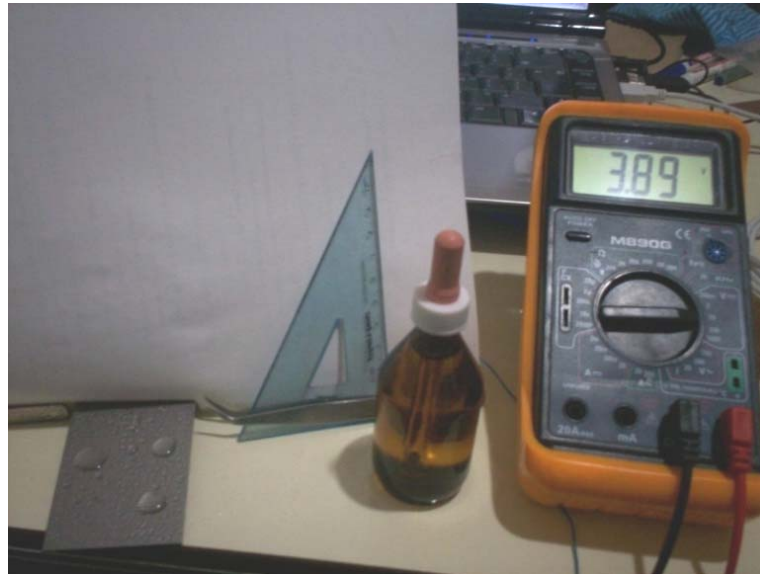
$$\frac{R_{PRE}}{R3} = 9 \Rightarrow R_{PRE} = 9 \cdot R3$$

Tomando un preset de 50K ($R_{PRE} = 50 \text{ K}\Omega$), $R3 = 5,556 \text{ K}\Omega$ (se toma valor comercial menor, 4,7 K Ω para tener cierto grado de regulación en vez de tomar el valor próximo de 5,6 K Ω); así cuando la resistencia del preset aumente ($R_{PRE} > 47 \text{ K}\Omega$), aumentará la ganancia del amplificador más de 10 veces.

Consideraciones prácticas

Sobre la base de los amplificadores operacionales, se sabe que éstos jamás llegan a tener en su salida la tensión de alimentación. Es decir, no podemos tener 5V a la salida del circuito amplificador porque físicamente existen caídas de tensión al no tratarse de un circuito ideal (cuanto menor sea la impedancia de salida del operacional menor caída de tensión tendremos).

La máxima salida de tensión que ofrece el amplificador es de unos 3,9V con alimentación de 5 V (ver Fotografía 3). Este dato es importante para establecer los límites de la conversión A/D en la etapa posterior y generar las referencias de tensiones correctas para aprovechar al máximo las características de los microcontroladores, en especial el módulo A/D.



Fotografía 3: Máxima tensión de salida de la etapa amplificadora

A la salida de la etapa amplificadora se tiene una excursión de la señal proporcional a la capacitancia (y por lo tanto, proporcional a la humedad en la hoja) de 120 mV a 3 V de tensión continua, tomando un margen de seguridad por si la tensión en la alimentación llegase a caer hasta 500 mV.

2.1.2.3. *El Oscilador*

Como se muestra en la Figura 14, el sensor consta de un **oscilador** cuya salida esta fija en 10KHz y se implementa mediante un CI 555 en configuración como astable (Figura 18). Este oscilador fue incluido en el prototipo por su facilidad de implementación y para realizar pruebas más rápidamente; en futuros desarrollos

será reemplazado por un oscilador a cristal o con la utilización de uno de los *timers* internos del MCU. Esto le dará una mayor precisión al sensor.

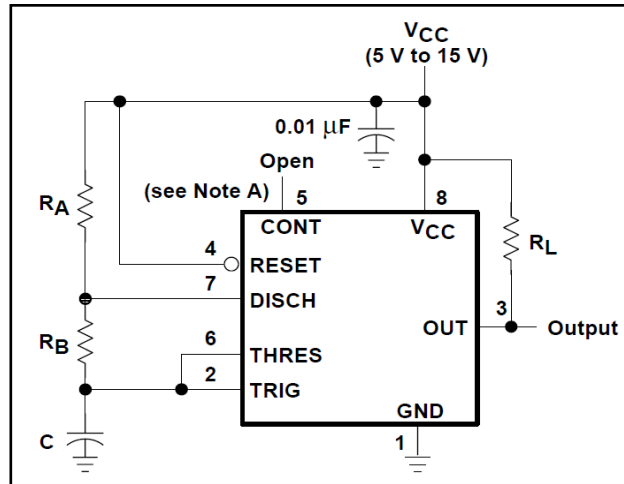


Figura 18: CI 555 en operación como astable.
Fuente: Hoja de Datos del NE555 de Texas Instruments

La frecuencia de oscilación viene dada por la ecuación (hoja de datos del CI):

$$f \cong \frac{1,44}{(R_A + 2R_B) \cdot C} \text{ Hertz}$$

Si disponemos de los datos $f = 10 \text{ KHz}$ y $C = 1 \text{ nF}$, nos resta encontrar el valor de resistores:

$$f \cong \frac{1,44}{(R_A + 2R_B) \cdot C} = 10 \text{ KHz}$$

$$f \cong \frac{1,44}{(R_A + 2R_B) \cdot 1 \text{ nF}} = 10 \text{ KHz}$$

$$\frac{1,44}{10 \text{ KHz} \cdot 1 \text{ nF}} = 144000 = (R_A + 2R_B)$$

Si $R_A = 10 \text{ K}\Omega$ (valor comercial)

$$144000 - 10000 = 2R_B$$

$$134000 = 2R_B$$

$$R_B = 67000 \cong 68 \text{ K}\Omega \text{ (valor comercial)}$$

Con $C = 1 \text{ nF}$, $R_A = 10 \text{ K}\Omega$ y $R_B = 68 \text{ K}\Omega$, el CI 555 oscilará a 10 KHz .

Como el fabricante nos dice que la salida en estado alto es de $0,67 \cdot V_{CC}$, para que la salida sea de 5 V, se coloca la resistencia R_L , en nuestro caso adoptamos el valor 2K2 para este propósito de *pull-up*.

Diversos Parámetros de la Onda Cuadrada de Salida (de hoja de datos del 555)

- Duración del Nivel Alto (t_H):

$$t_H = 0,693(R_A + R_B)C$$

$$t_H = 0,693(10K + 68K)1nF = 54,054\mu s$$

- Duración del Nivel Bajo (t_L):

$$t_L = 0,693R_B C$$

$$t_L = 0,693 * 68K * 1nF = 47,124\mu s$$

- Ciclo de Trabajo:

$$DC = \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

$$DC = \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{68K}{10K + 2 * 68K} = 0,53425 = 53,4\%$$

De los cálculos anteriores se puede ver que el oscilador genera una onda cuadrada con un ciclo de trabajo del 53,4%, suficiente para los propósitos empleados.

2.1.2.4. Circuito Sensor de Temperatura

El circuito del sensor de temperatura está fabricado en base al CI LM35. Este integrado, calibrado directamente en grados centígrados, ofrece una sensibilidad de $10mV/^\circ C$ con un rango completo de $-55^\circ C$ a $150^\circ C$. Puede operar con una alimentación de 4 a 30V, es este diseño se lo alimenta con 5 Vdc.



Figura 19: Sensor de temperatura. Izq.: con fuente simétrica; Der.: con fuente simple

Fuente: Hoja de Datos del LM35 de Texas Instruments

Como se determinó detectar temperaturas menores a 0°C , y para ello la alimentación del LM35 debería ser una fuente simétrica (

Figura 19 Izq.), ya que a temperaturas bajo cero, el circuito integrado suministra tensiones negativas, se empleó la aplicación que ofrece la hoja de datos del componente (

Figura 19 Der.); cambiando los diodos 1N914 por los 1N4148, ya que poseen características muy similares como puede observarse en las hojas de datos de cada uno de ellos (Figura 20); y empleando un resistor de 18KΩ de 5% de tolerancia. La salida positiva se la conecta a la entrada AN0 y la salida negativa a la entrada AN1, y mediante un algoritmo en lenguaje C, se obtiene la correspondiente representación de temperatura en grados Celsius con un rango de -20°C a 60°C

| Symbol | Parameter | Value | Units |
|-------------|---|-------------|-------|
| V_{RRM} | Maximum Repetitive Reverse Voltage | 100 | V |
| $I_{F(AV)}$ | Average Rectified Forward Current | 200 | mA |
| I_{FSM} | Non-repetitive Peak Forward Surge Current | 1.0 | A |
| | Pulse Width = 1.0 second | 4.0 | A |
| T_{stg} | Storage Temperature Range | -65 to +200 | °C |
| T_j | Operating Junction Temperature | 175 | °C |

| | | | | |
|-----------|-------------------------------------|---|-----|---------|
| V_{RRM} | repetitive peak reverse voltage | — | 100 | V |
| V_R | continuous reverse voltage | — | 100 | V |
| I_F | continuous forward current | see Fig.2; note 1 | — | 200 mA |
| I_{FRM} | repetitive peak forward current | — | — | 450 mA |
| I_{FSM} | non-repetitive peak forward current | square wave; $T_j = 25\text{ °C}$ prior to surge; see Fig.4 | — | — |
| | $t = 1\ \mu\text{s}$ | — | 4 | A |
| | $t = 1\ \text{ms}$ | — | 1 | A |
| | $t = 1\ \text{s}$ | — | 0.5 | A |
| P_{tot} | total power dissipation | $T_{amb} = 25\text{ °C}$; note 1 | — | 500 mW |
| T_{stg} | storage temperature | — | -65 | +200 °C |
| T_j | junction temperature | — | — | 200 °C |

Figura 20: Comparación de diodo 1N914 (arriba) y 1N4148 (abajo)

Fuente: Hojas de datos de los componentes.

2.1.2.5. El Microcontrolador

La unidad MCU (*Microcontroller Unit* o simplemente, el microcontrolador) es donde reside la mayor parte del desarrollo del sensor. Se prefirió trabajar con el conocido PIC16F877A de *Microchip*, por la experiencia y conocimiento adquirido en trabajos previos a lo largo de la carrera.

Las características principales del microcontrolador PIC16F877A se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2: Principales Características del PIC16F877A

| | |
|-----------------|------------------------|
| CPU RISC | |
| Instrucciones | 35 de una sola palabra |

| | |
|--|-------------------------------------|
| Velocidad de Operación | DC a 20MHz (oscilador principal) |
| Memoria de Programa FLASH | 8K x 14 palabras |
| RAM | 368 x 8 bytes |
| EEPROM | 256 x 8 bytes |
| Características Periféricas | |
| Temporizador /Contador | 1 x 8 bits con pre escalador |
| Temporizador /Contador | 1 x 16 bits con pre escalador |
| Temporizador /Contador | 1 x 8 bits con pre y post escalador |
| Módulos de Captura, Comparación y PWM | 2 |
| Puerto serial síncrono (SSP) con bus SPI (modo maestro) y bus I ² C (maestro/esclavo). | |
| USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con dirección de detección de 9 bits | |
| Puerto Paralelo Esclavo (PSP) 8 bits | |
| Características Analógicas | |
| Convertor A/D | 8 canales de 8 ó 10 bits |
| Comparador Analógico | 2 |
| Características Especiales | |
| In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) vía two pins | |
| Perro Guardián (WDT) | |
| Oscilador | Soporta XT, HS, RS, LP |
| Tecnología de Fabricación | CMOS |
| Rango de Voltaje de Operación | 2,0 a 5,5 V DC |
| Corriente Máxima Absorbida/ Suministrada por línea (pin) | 25 mA |
| Líneas I/O | 33 |

Fuente: hoja de datos del microcontrolador

Las rutinas del microcontrolador fueron desarrolladas en lenguaje C, haciendo uso del software *PIC C Compiler* y simuladas en parte en el software *Proteus*. En el Anexo III se presenta el código completo para su referencia.

El módulo de conversión se caracteriza por una serie de parámetros; a continuación se describen las configuraciones que se emplean:

- Números de bits (N): 10.
- Tiempo de Conversión: 19,72 μ s a 50°C.
- Reloj para conversión: RC interno de 2,6 μ s
- Tensión a Fondo de Escala: 3 V
- Rango de Entrada: 100mV a 3 V
- Resolución (LSB): = 3 mV.
- Error de la Conversión: $\frac{1}{2}$ LSB = 1,5 mV.
- Tensión de Referencia Superior: $V_{ref+} = 3$ V.
- Tensión de Referencia Inferior: V_{ref-} (no implementada en el prototipo)

Al tratarse de un prototipo, se consideró despreciable los valores que se pierden en la conversión al no colocar una referencia de tensión de 120mV como límite inferior en el rango de entrada del conversor A/D (igual a 40 LSB – se pierden estos valores; corresponde en una pérdida del orden del 4% del rango total { $40 \cdot 100 / 1023 = 3,91$ })

simplificó bastante, además permite adoptar diversas formas de acondicionamiento de la capacitancia en función de la humedad presente en el medio.

La señal analógica generada por el sensor es entregada hacia una entrada analógica del microcontrolador: AN2 (Figura 21) Se procesa digitalmente esta señal primero pasándola por el conversor A/D interno y luego empleado algoritmos para la obtención de la humedad.

En el proceso de conversión Análogo/Digital, no se emplea el rango de VSS (tierra) a VDD (+5V) como por defecto tiene configurado el microcontrolador, sino se hace uso de uno de sus recursos: +Vref. El pin número 5 del encapsulado correspondiente a la entrada AN3, posee la característica de poder ser configurado como una tensión superior de referencia para la conversión A/D. Es así, que el circuito identificado con *VOLTAGE REFERENCE* está para dicho propósito. La referencia de tensión se hace mediante un diodo zener de 3,0 V y un resistor, cuyos cálculos se presentan a continuación:

Zener empleado: *BZX55B 3V0*

- $V_z=3,0\text{ V}$
- $I_{z\text{mín}}=40\ \mu\text{A}$
- $P_{z\text{máx}}=1/4\text{ W}$
- $I_{z\text{máx}}=80\text{ mA}$

$$\frac{V_{CC} - V_z}{I_{z\text{máx}}} \leq R4 \leq \frac{V_{CC} - V_z}{I_{z\text{mín}}} \quad \frac{5V - 3V}{80\text{mA}} \leq R4 \leq \frac{5V - 3V}{40\ \mu\text{A}} \quad \frac{2V}{80\text{mA}} \leq R4 \leq \frac{2V}{40\ \mu\text{A}}$$

$$25\ \Omega \leq R4 \leq 50\ \text{K}\Omega$$

Se selecciona un valor de resistor $R4 = 1\ \text{K}\Omega$ ya que asegura el funcionamiento correcto del zener y no disipa demasiada potencia.

Estabilidad de la referencia en el rango de temperatura operativo

En este apartado se determinará la variación en tensión que presenta la referencia en el rango de -20°C a 60°C . Para el cálculo emplearemos la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{\Delta V_z / V_z}{T_1 - T_0} \times 100\% / ^\circ\text{C}$$

Donde:

T_C : coeficiente de temperatura en %/K.

ΔV_Z : Variación de voltaje según la temperatura en V.

V_Z : voltaje nominal de Zener en V.

T_1 : nuevo nivel de temperatura en K.

T_0 : temperatura ambiente en un gabinete cerrado (25°C) en K

Despejando ΔV_Z , nos queda:

$$\Delta V_Z = \frac{T_C \cdot V_Z}{100\%} \times (T_1 - T_0) \text{ V}$$

- Para 60°C

$$\Delta V_Z = \frac{-0,08 \times 3}{100\%} \times (60 - 25) = -0,084 \text{ V}$$

- Para -20 °C

$$\Delta V_Z = \frac{-0,08 \times 3}{100\%} \times (-20 - 25) = -0,108 \text{ V}$$

Es común que los coeficientes de temperatura para zener de menos de 5 V tengan coeficientes negativos de temperatura; según los resultados, para la temperatura superior de **60°C** tendremos que la estabilidad de la referencia será de **3 - 0,084 V = 2,916 V** y para la temperatura inferior de **-20°C** la referencia tendrá el valor **3 - 0,108 V = 2,892**, es una estabilidad suficientemente buena para el propósito de la conversión A/D y se puede calibrar la medición en función de estos parámetros. Aparte de la temperatura, el diodo Zener es un **BZX3V0B**, lo que significa que es de **2%** de estabilidad general en términos de la V_Z nominal; es decir, **$V_Z = 3 \pm 0,06V$** (de 2,94 V a 3,06 V)

Hacia la parte derecha del PIC (Figura 21) tenemos el circuito de comunicaciones vía RS-485 a través del CI SN75176. Su implementación se hizo a través de tres hilos desde el micro: T_x , R_x y E (transmisión, recepción y *enable*/habilitación respectivamente) como puede observarse en la Figura 21. Los componentes $VT \text{ NODO}$ y $COM \text{ PORT}$ son para realizar simulaciones y visualizar el diseño del programa sin tener que implementarlo físicamente al circuito, lo que hace depurar errores de diseño muy rápidamente.

Finalmente, un pulsador y el resistor $R1$ componen el circuito manual de reset implementado para pruebas en conjunto con el cristal de 4 MHz con sus condensadores de 27 pF según recomendaciones del fabricante, completan la circuitería general.

El pin 1 **MCLR** lleva un resistor *pull-up* de 2200 ohm. Este valor se eligió prácticamente, y se justifica mediante los siguientes cálculos:

$$R_{m\acute{a}x} = V/I = \frac{(V_{CC} - V_{IH})}{I_{m\acute{i}n}}$$
$$R_{m\acute{a}x} = \frac{5 - 4,8V}{5\mu A} = 40K\Omega$$

El módulo conversor Análogo/Digital del MCU PIC 16F877A tiene 8 canales de entrada. La señal analógica aplicada a uno de los canales se convierte en número binario de 10 dígitos de resolución.

De los 8 canales disponibles se utilizan tres, uno para la señal del sensor de humedad ($AN2$) y dos para el sensor de temperatura ($AN0$ y $AN1$) como se observa en la Figura 21; se tiene la ventaja de poder medir temperaturas por debajo de 0°C.

La siguiente ecuación permite calcular el tiempo de adquisición de datos para 1024 pasos del convertidor A/D. T_{AMP} sería el tiempo de respuesta del amplificador interno del convertidor A/D, T_C sería el tiempo de carga del condensador que guarda el dato y T_{COFF} sería el coeficiente de temperatura (que este sólo se utilizaría para temperaturas > 25°).

$$T_{AD} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \approx 19,72\mu s$$

El convertidor A/D requiere un mínimo de 12 T_{AD} (tiempo de conversión analógico-digital) para la conversión de los 10 bits. Para realizar conversiones correctas el reloj del convertidor A/D debe seleccionarse para asegurar un tiempo mínimo de T_{AD} de 1,6 μs .

Implementación del Estándar IEEE 1451

A continuación se definen algunos de los términos empleados en la implementación del estándar IEEE 1451.

- **TIM (Transducer Interface Module):** *Módulo de Interfaz de Transductor* - módulo que contiene una interface, acondicionadores de señal, conversores A/D y/o D/A, etc. Puede ser desde un simple sensor o actuador, hasta una unidad con varios de ellos [33].
- **STIM (Smart Transducer Interface Module):** *Módulo de Interfaz de Transductor Inteligente* - cuando un TIM se implementa según el estándar IEEE 1451, se dice que es un transductor inteligente [33].
- **TEDS (Transducer Electronic Data Sheet):** *Hoja de Datos Electrónica del Transductor ó Ficha Electrónica del Transductor* - son archivos almacenados en sensor/actuador ó en el TIM que contienen información relacionada al fabricante, nombre del transductor, número de serie, modelo, tipo de transductor, datos de calibración, información de tiempos de actuación, rangos de trabajo, unidades físicas, etc [33]. Las estructuras de las múltiples TEDS son las descritas por el estándar IEEE 1451.0
- **NCAP (Network-Capable Application Processor):** *Procesador de Aplicaciones con Capacidad para conectarse a una Red* - realiza las comunicaciones de red, comunicaciones TIM, y conversión de datos u otras funciones de procesamiento.
- **API (Application Programming Interfaces):** *Interfaces de Programación de Aplicación* – interfaz que provee la comunicación entre la red de usuarios y la capa IEEE 1451.0

Al compatibilizar al sensor con el estándar IEEE 1451, el diagrama en bloques del sensor diseñado ahora responde al de la

Figura 22:

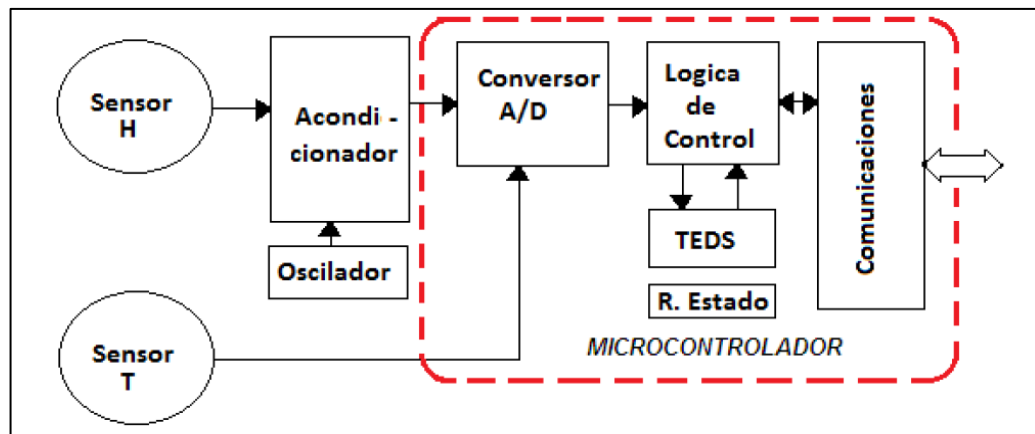


Figura 22: Sensor de Humedad de Hoja Inteligente SHH-1

Fuente: Elaboración propia.

En

la

Figura 22 se observa los siguientes módulos:

- Sensor capacitivo (Sensor H).
- Sensor de temperatura (Sensor T).
- Acondicionamiento de señal
- Conversión analógica digital
- Hoja electrónica de datos (TEDS)
- Registro de estado
- Lógica de control
- Comunicaciones

El diagrama es prácticamente el mismo que la Figura 14, sólo que se añaden los módulos que corresponden al estándar: las **TEDS** y el **Registro de Estado**, para un canal transductor definido en el estándar como sensor.

El sensor de humedad en hoja se denominó como “**SHH-1**” y para hacer posible la implementación del estándar, se partió de la lectura y conocimiento de las normas IEEE 1451.0 y IEEE 1451.2.

Si bien no es el objetivo de este trabajo explicar en profundidad el contenido de las normas IEEE 1451, se puede resumir que el grupo de trabajo **IEEE 1451.0** definió en la norma del mismo nombre las bases comunes para la interoperabilidad de toda la familia 1451. Las funciones que desempeña un TIM (teniendo en cuenta que un transductor puede ser un sensor ó actuador) y las características comunes de todos los dispositivos que se implementen. También especifica los formatos de las TEDS y las API's. El grupo de trabajo **IEEE 1451.2** especifica en su norma la interfaz digital para la conexión de un canal transductor a un microprocesador. Define los formatos de las TEDS, la interfaz eléctrica entre el NCAP y el TIM a través de 10 líneas de comunicación, funciones lógicas de lectura y escritura de las TEDS; pero no especifica al acondicionamiento de la señal, las conversiones de señales ni como la información contenida en las TEDS es usada en las aplicaciones finales. En este apartado, cabe destacar que el sensor diseñado posee físicamente disponible las 10 líneas de comunicación. Es decir, se puede implementar este circuito como un STIM aunque posiblemente se tengan restricciones en cuanto a la memoria de programa para los algoritmos a diseñar. En la sección de líneas futuras se prevé esta posible continuación.

2.1.3. Registro de estado

El estado del transductor está representado de tal manera que es accesible mediante los comandos correspondientes. La situación incluye información relativa al funcionamiento del dispositivo. La Tabla 3 resume los bits de estado correspondientes al estándar IEEE 1451.2 como registro de estado estándar.

Tabla 3: Bits del Registro de Estado (Status Bits)

| b15 | b14 | b13 | b12 | b11 | b10 | b9 | b8 | b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|--|-----------|-------|---------------------------|-----------------------|
| Abierto a la industria | Abierto a la industria | Abierto a la industria | Corrección de datos | Reservado | Reservado | Reservado | Canal Operativo | Error de hardware | Evento/dato | Datos / evento perdido | Registro de estado auxiliar disponible | Reservado | Reset | Reconocimiento de disparo | Solicitud de servicio |

Fuente: [31]

El bit de **solicitud de servicio** se activa cuando el canal está solicitando el servicio y se borra al leer.

El bit de **reconocimiento de disparo** será activado cuando se reconoce un disparo para iniciar una medición, se borrará cuando se lee.

El bit de **reset** se establece después de que el canal ha sido reiniciado por cualquier razón. Esto se borra al leer.

El bit de estado **canal auxiliar disponible** se ha fijado en “0” ya que no se implementa un registro de estado auxiliar

El bit de estado **error de hardware** se establece en “0” ya que no se ha desarrollado una función de autotest.

El bit de **pérdidas de datos o de evento** se fijará coincidente con una pérdida de muestreo de datos o la recepción de un comando no reconocido.

El bit **datos / evento** se establece al finalizar un ciclo de 10 lecturas. Esto se borrará al leer o comienzo de un nuevo ciclo.

El bits de **canal operativo** se establecerán cuando el canal del transductor esta desbloqueado. El sensor se bloquea durante la inicialización o por un comando de bloqueo.

El bit de **correcciones habilitadas/deshabilitadas**. Este bit se ha establecido en “0” ya que no se implementan algoritmos de corrección del valor medido.

Los bits de **abierto a la industria y reservado** restantes se implementan como cero, ya que no se hace uso de ellos.

2.1.4. Las TEDS – Hoja de Datos Electrónica del Transductor

La Hoja de Datos Electrónica del Transductor (**TEDS**) proporciona una forma estandarizada de documentar electrónicamente las capacidades y características del dispositivo. Este documento electrónico puede ser leído por aplicaciones que deseen utilizar el dispositivo y por lo tanto las capacidades del dispositivo pueden ser descubiertos en tiempo de ejecución. El concepto TEDS, el cual es desarrollado y refinado en las normas IEEE 1451.0 [31], 1451.2 [32] 1451.4, establece un mecanismo robusto para identificar y explotar las capacidades de los dispositivos. Las TEDS desarrollados consta de tres componentes: las TEDS Básica, el TEDS estándar y extendido, y el Área de Usuario.

Las TEDS del sensor fueron implementadas en la memoria EEPROM del MCU y contiene todas las particularidades del canal y su estructura responde al estándar IEEE 1451.0

La cláusula Especificación de las TEDS del estándar IEEE 1451.0, define en contenido de todas las TEDS.

El formato general para cualquier TEDS se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4: Formato General para cualquier TEDS

| Field | Description | Type | # octets |
|--------|-------------|----------|----------|
| - | TEDS length | UInt32 | 4 |
| 1 to N | Data Block | Variable | Variable |
| - | Checksum | UInt16 | 2 |

Fuente: [31]

El campo **length**, de cuatro bytes, indica el largo total de la TEDS incluido el campo Checksum.

En **data block**, se almacena la información para cada TEDS. Todas las TEDS tienen una estructura de datos denominada TLV que significa Type/Length/Value (Tipo/Longitud/Valor), de esta manera cada campo se almacena en forma de una "tupla" TLV.

El campo **checksum** comprueba la integridad de los datos almacenados mediante una suma de comprobación de complemento a uno de todos los octetos

anteriores. Tiene la forma:
$$checksum = 0xFFFF - \sum_{i=1}^{TotalOctets-2} TEDSOctet(i)$$

Se debe hacer notar en este punto que el estándar IEEE 1451.2 no emplea la estructura TLV para definir las TEDS, sino, implementa directamente los campos con su valor. Para mayor detalle ver [32]

Para el sensor se implementarán dos TEDS, la **Transducer Channel TEDS** y la **User's Channel Name TEDS** (en ocasiones, a la segunda TEDS se la llamará simplemente Channel Name TEDS o TEDS Nombre del Canal)

Las TEDS desarrolladas incluyen el campo de identificación denominado TEDSID, este campo tendrá la siguiente estructura y valores (en todos los casos los valores se darán en sistema hexadecimal a menos que se indique otro sistema):

Tabla 5: Contenido del Campo TEDSID

| Contenido | Valor para ChannelTEDS | Valor para NameTEDS |
|--|------------------------|---------------------|
| Identificación del campo cabecera | 03 _h | 03 _h |
| Longitud de los datos | 04 _h | 04 _h |
| Familia 1451 a la que pertenece | 00 _h | 00 _h |
| Clase. Identifica la TED | 03 _h | 0C _h |
| Versión | 01 _h | 01 _h |
| Número de octetos en el campo de longitud de todas las tuplas, excepto en estas. | 01 _h | 01 _h |

Fuente: [31]

2.1.5. Transducer Channel TEDS

Es una TED obligatoria para el estándar y aporta información detallada sobre el transductor.

Campo: LENGTH

Tipo de dato: UInt32 Bytes: 4

Descripción: Largo, incluye el checksum, no incluye este campo

Valor: 00-00-00-5E

Campo: TEDSID

Tipo de dato: UInt8 Bytes: 4

Descripción: Identificación

Valor: 03-04-00-03-01-01

Campo: CALKEY

Tipo de dato: UInt8 Bytes: 1

Descripción: Capacidad de calibración del canal

Valor: 0A-01-01

Campo: CHANTYPE

Tipo de dato: UInt8 Bytes: 1

Descripción: Tipo de canal (0, *sensor*)

Valor: OB-01-00

Campo: PHYUNITS

Tipo de dato: UNITS Bytes: 11

Descripción: Nombre de la unidad física a medir o controlar, se mide humedad absoluta las unidades son g/m³

Valor: 0C-09-32-01-01-35-01-7A-36-01-7A // g/m³

Campo: LOWLIMIT

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Límite inferior de operación del transductor (10%)
Valor: 0D-04-41-20-00-00
Campo: **HILIMIT**

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Límite superior de operación del transductor (100%)
Valor: 0E-04-42-C8-00-00
Campo: **OERROR**

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Error, incertidumbre típica del transductor (2%)
Valor: 0F-04-40-00-00-00
Campo: **SELFTEST**

Tipo de dato: UInt8 Bytes: 1
Descripción: Auto test (sin implementar)
Valor: 10-01-00
Campo: **SAMPLE**

Tipo de dato: No definido
Descripción: Describe el modelo de datos de la señal muestreada: entero con 10 bits validos.
Valor: 12-09-28-01-00-29-01-02-2A-01-0A
Campo: **UPDATET**

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Tasa de actualización del sensor, para 10muestras/seg. Tenemos 0,1 seg. (100 ms)
Valor: 14-04-3D-CC-CC-CD
Campo: **RSETUPT**

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Tiempo de preparación para lectura (25 µs)
Valor: 16-04-37-D1-B7-17
Campo: **SPERIOD**

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Tiempo que demora el sensor en tomar una muestra (100ms)
Valor: 17-04-3D-CC-CC-CD
Campo: **WARMUPT**

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Tiempo que demora en estabilizarse el sensor después de ser energizado (5 Seg)
Valor: 18-04-40-A0-00-00
Campo: **RDELAYT**

Tipo de dato: Float32 Bytes: 4
Descripción: Tiempo entre 2 comandos de lectura (tiempo necesario para llenar el buffer con 10 muestras nuevas) (100 mSeg)

Valor: 14-04-3D-CC-CC-CD

Campo: **SAMPLING**

Tipo de dato: No definido

Descripción: Define los atributos del muestreo (opera libremente sin pre-disparo)

Valor: 1F-03-30-01-02

Campo: **CHECKSUM**

Tipo de dato: UInt16 Bytes: 2

Descripción: Suma de comprobación

Valor: F0-72

Esta TEDS se mapeó en la memoria EEPROM interna del microcontrolador ocupando las direcciones de 0 a 98. Ocupa 99 Bytes de memoria en total.

2.1.6. User's Transducer Name TEDS

Es una TED obligatoria para el estándar y almacena el nombre por el cual se reconocerá al sensor en una aplicación hacia el usuario.

Campo: **LENGTH**

Tipo de dato: UInt32 Bytes: 4

Descripción: Largo, incluye el checksum, no incluye este campo

Valor: 00-00-00-16

Campo: **TEDSID**

Tipo de dato: UInt8 Bytes: 4

Descripción: Identificación

Valor: 03-04-00-0C-01-01

Campo: **FORMAT**

Tipo de dato: UInt8 Bytes: 1

Descripción: Define el formato de campo datos

Valor: 04-01-00

Campo: **TCName**

Tipo de dato: no definido

Descripción: Nombre del sensor "SHH-1 v1.0"

Valor: 53-48-48-2D-31-20-76-31-2E-30

Campo: **CHECKSUM**

Tipo de dato: UInt16 Bytes: 2

Descripción: Suma de comprobación

Valor: FC-C5

Esta TEDS se grabó en la memoria EEPROM interna del microcontrolador a continuación de la TEDS anterior y ocupa las direcciones de 99 a 125. Ocupa 26 Bytes de memoria en total.

Como se puede observar, la información de las TEDS incluye el tipo de transductor, las unidades físicas del transductor, el modelo de datos, la información de tiempo como el tiempo de actualización, periodo de muestreo, etc y una suma de comprobación de integridad de datos para cada bloque de datos.

Funcionamiento según el estándar

El transductor podrá estar en estado operativo o no operativo, esta situación se establece según el estado del bit *canal operativo* en el registro de estado. En estado no operativo el transductor no realiza ninguna acción y espera el comando de desbloqueo. En estado operativo, el funcionamiento del transductor se representa en el diagrama de estado en la

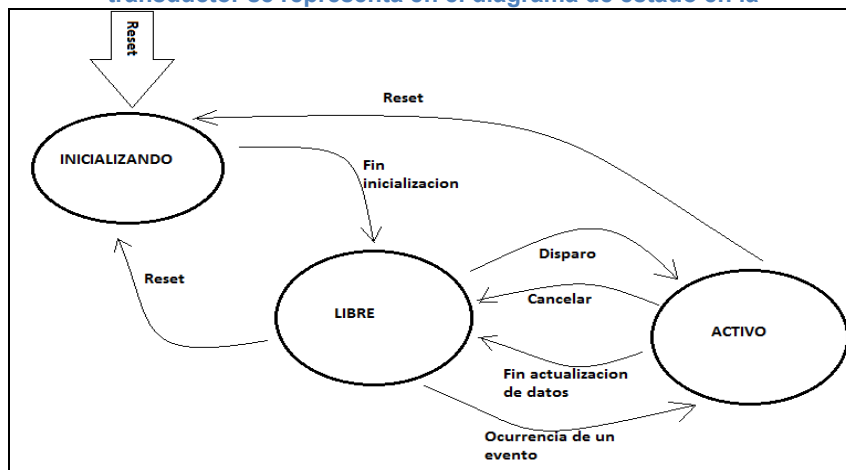


Figura 23.

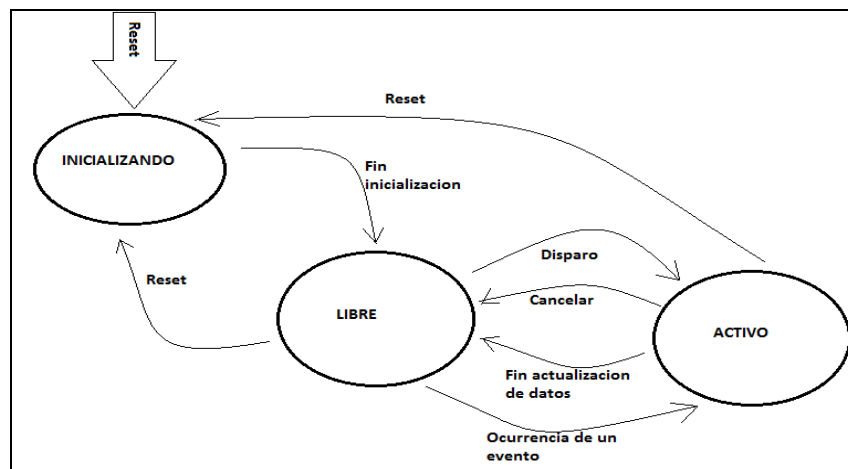


Figura 23: diagrama de estados del sensor operativo

Fuente: Elaboración propia a partir de [31]

En el estado de **INICIALIZANDO**, se limpia el buffer de datos y se actualiza el registro de estado (también se debería producir la auto-identificación del canal en el sistema donde se conecta- no implementado). La inicialización puede provenir por el encendido (**Power-On**) o por la llegada de un comando **Reset** desde el exterior.

En el estado **LIBRE** el transductor ya se ha identificado y se encuentra tomando muestras en forma libre, se ha previsto un buffer que almacene hasta un máximo de 10 muestras.

Al estado **ACTIVO** se ingresa por la llegada de un comando seguido de una señal de disparo, si el comando recibido es válido se ejecuta y se establece la señal de reconocimiento de disparo, si el disparo es invalido se establece el bit de **datos/evento perdido**.

2.1.7. Comandos

El sensor es capaz de reconocer **comandos** que permiten su operación y control, en esta etapa se han desarrollado los comandos detallados en la Tabla 6:

Tabla 6: Comandos reconocidos por el sensor

| Código | Nombre | Acción |
|----------------------------|------------------------|---|
| 00010701h | reset () | Reinicia el sensor |
| 000107800101h | bloqueo (1) | Pone no operativo el canal |
| 000107800100h | bloqueo (0) | Pone operativo el canal |
| 00010301000100h | leer_datos(0) | Lee datos (valor medio de las últimas 10 lecturas del sensor) |
| 00010109h | leer_registro () | Lee el registro de estado |
| 000101020002 0300 h | leer_teds(TEDS,offset) | Lee la Transducer Channel TEDS |
| 000101020002 0C00 h | leer_teds(TEDS,offset) | Lee la User's Channel Name TEDS |

Fuente: Elaboración propia según [31]

El estándar IEEE 1451.0 en su cláusula 6. *Message structures*, define la estructura de los mensajes que se envían a través de la interfaz del módulo de comunicaciones. El estándar define tres tipos de mensajes: **Mensajes de Comando**, **Mensajes de Respuesta** y **Mensaje de Inicio**. La transmisión se realiza por octetos (bytes).

2.1.8. Estructura de los Mensajes de Comando

La estructura del mensaje de comando es utilizada cuando la red solicita algún tipo de información ó envía alguna orden al sensor. La Tabla 7 muestra el formato de este mensaje de comando.

Tabla 7: Estructura de los Mensajes de Comando IEEE 1451.0

| Octeto | Contenido | Valor para comando Leer_datos |
|--------|---|-------------------------------|
| 1 | ID transductor (octeto más significativo) | 00 |
| 2 | ID transductor (octeto menos significativo) | 01 |
| 3 | Clase de Comando | 03 |
| 4 | Función de Comando | 01 |
| 5 | Longitud (octeto más significativo) | 00 |
| 6 | Longitud (octeto menos significativo) | 01 |
| 7 a N | Argumentos (octetos dependientes del comando) | 00 |

Fuente: elaboración propia a partir de [31]

- **ID transductor:** número de 16 bits del canal transductor destino del mensaje.
- **Clase de comando:** definido en la Tabla 8.
- **Función de comando:** definida según la clase de comando que se utilice.
- **Longitud:** número de octetos dependiente del comando en el mensaje.
- **Argumentos:** este campo contiene la información definida en el comando. Existen comandos que no tienen argumentos, como el de reset y el de leer registro de estado.

La Tabla 7 además, muestra los valores en cada campo para la lectura de datos desde el sensor en su tercera columna. Ésta columna corresponde al código en negrita de la Tabla 6 al nombre de comando leer_datos (). Del mismo modo se establecieron los demás comandos.

Tabla 8: Clases estándar de comandos IEEE 1451.0

| cmdClassId | Attribute name | Category |
|------------|----------------|---|
| 0 | Reserved | Reserved |
| 1 | CommonCmd | Commands common to the TIM and Transducer Channel |
| 2 | XdcrIdle | Transducer idle state |
| 3 | XdcrOperate | Transducer operating state |
| 4 | XdcrEither | Transducer either idle or operating state |
| 5 | TIMsleep | Sleep state |
| 6 | TIMActive | Tim active state commands |
| 7 | AnyState | Any state |
| 8 – 127 | ReservedClass | Reserved |
| 128 – 255 | ClassN | Open for manufacturers: N = class number |

Fuente: [31]

2.1.9. Estructura de los Mensajes de Respuesta

Un TIM (ó un transductor) podría generar un mensaje de respuesta bajo dos circunstancias. La primera es cuando un comando por si mismo necesita de una respuesta, por ejemplo la lectura del registro de estado del sensor. La segunda, cuando el protocolo para los bits del registro de estado modifique algún bit como el de solicitud de servicio, evento o dato, etc.

El formato del mensaje de respuesta se muestra en la Tabla 9

Tabla 9: Estructura del Mensaje de Respuesta

- **Bandera de comando Éxito/Falla:** se coloca a uno si el comando fue exitosamente completado. Si es cero, el sistema leerá el registro de estado para determinar su causa.
- **Longitud:** igual que en los mensajes de comandos, números de octetos dependientes de la respuesta.
- **Argumentos:** este campo contiene la información definida por el comando de la Tabla 8

La tercer columna de la Tabla 9 muestra el mensaje de respuesta para el comando leer_datos enviado desde el pc. La fila argumentos contiene los campos de *offset* (00000000), humedad (40933333 = 4,6) y temperatura (41C800000 = 25,0 °C).

2.1.10. Estructura del Mensaje de Inicio

El formato del mensaje de inicio se provee en la Tabla 10. Ejemplos de estos

| Octeto | Contenido | Valor para comando leer_datos |
|--------|--|-----------------------------------|
| 1 | Bandera de comando Éxito/Falla | 01 |
| 2 | Longitud (octeto más significativo) | 00 |
| 3 | Longitud (octeto menos significativo) | 0C |
| 4 a N | Argumentos de respuesta (octetos dependientes del comando) | 00000000 40933333 41C800000 |

mensajes pueden ser mensajes de estado o información de transmisión, o conexión del sensor.

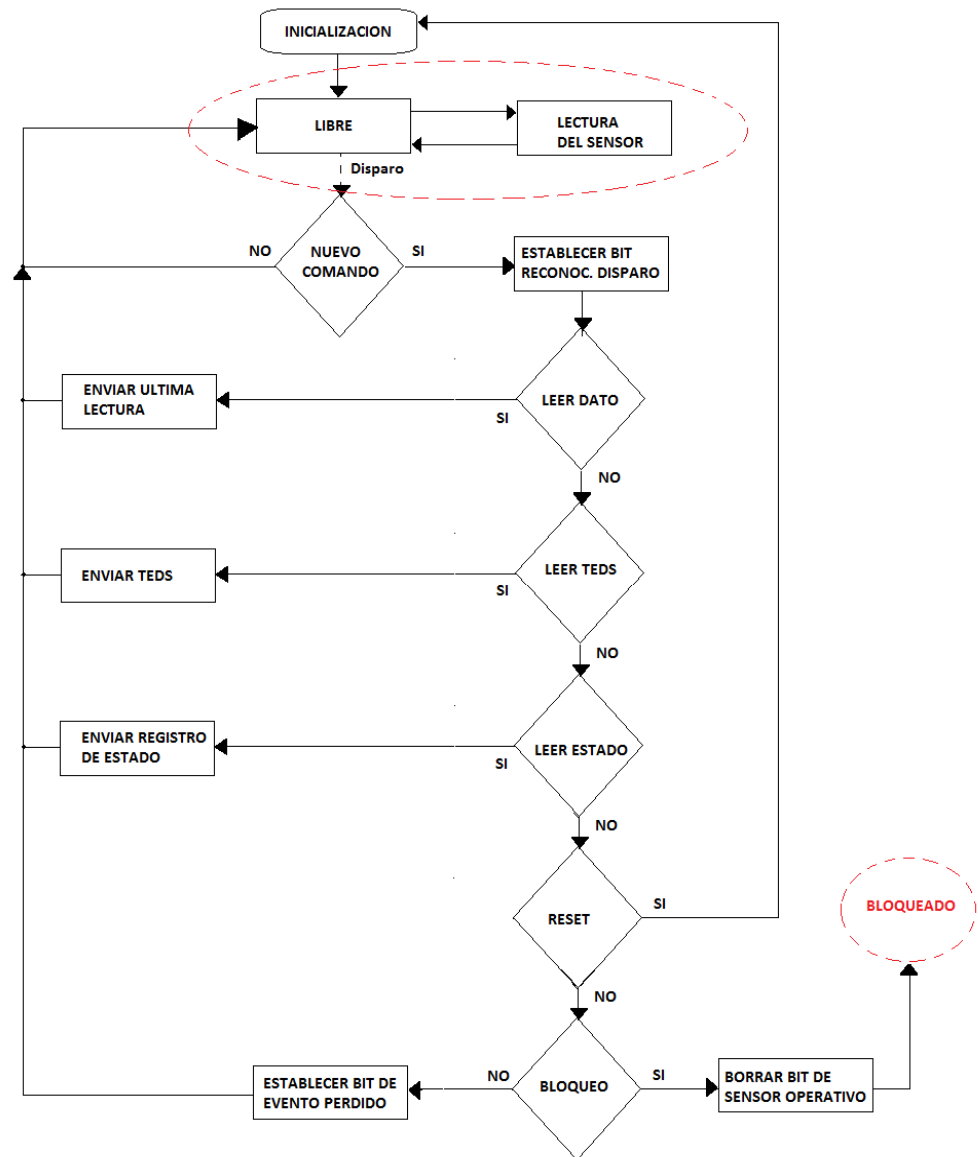
Tabla 10: Estructura del Mensaje de Inicio IEEE 1451.0

| Octeto | Contenido | Valor para comando leer_datos |
|--------|--|-------------------------------|
| 1 | ID transductor fuente (octeto más significativo) | 00 |
| 2 | ID transductor fuente (octeto menos significativo) | 01 |

| | | |
|-------|---|------------|
| 3 | Clase de Comando | 07 |
| 4 | Función de Comando | 01 |
| 5 | Longitud (octeto más significativo) | 00 |
| 6 | Longitud (octeto menos significativo) | 0A |
| 7 a N | Argumentos (octetos dependientes del comando) | SHH-1 v1.0 |

Fuente: elaboración propia a partir de [31]

La tercera columna de la Tabla 10 muestra el mensaje de inicio para el sensor, y coloca la leyenda **SHH-1 V1.0** con los campos previos. La estructura es la misma que los mensajes de comandos, salvo que el **ID transductor fuente** es la identificación del transductor que contiene el mensaje de inicio; en este caso es el sensor mismo.



En la
 Figura 24 se muestra el comportamiento del sensor en estado operativo.

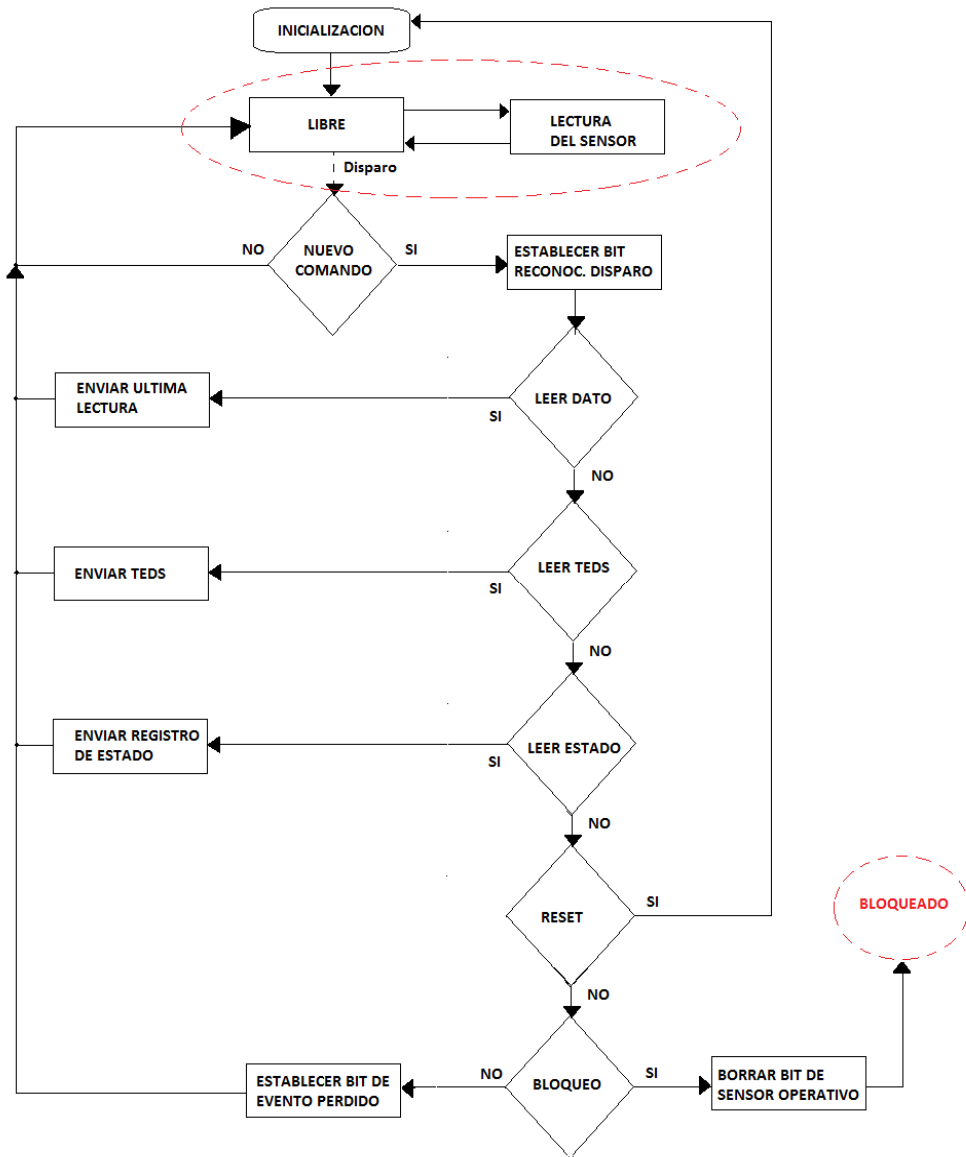


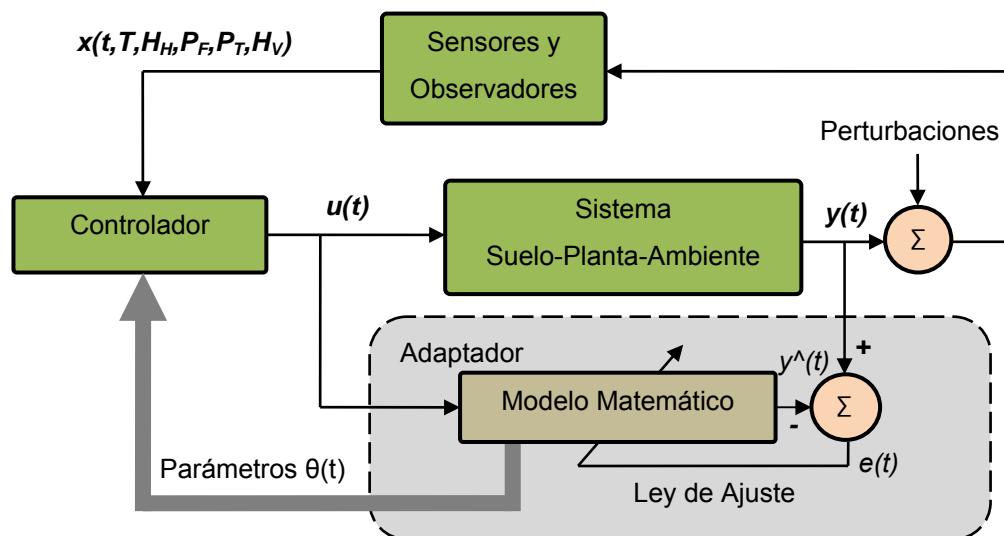
Figura 24: Diagrama de flujo del sensor operativo

Fuente: Elaboración propia según [31]

Propuesta del sistema de control

El algoritmo de control debería ser capaz de mantener un equilibrio hídrico en la planta y contribuir de manera positiva en los mecanismos que el propio cultivo posee para mantenerse en un estado “saludable”.

Se propone un sistema de control similar al empleado por [6] e ilustrado en la Figura 25:



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$x(t, T, H_H, P_F, P_T, H_V)$: es un vector que contiene las señales sensores y observadores. Las señales pueden ser **temperatura** y **humedad en la hoja**, el **peso seco por metro cuadrado** (fruto y total) y la **humedad de suelo**.

$T(t)$: temperatura en el follaje.

$H_H(t)$: humedad absoluta ambiente (en la hoja).

$P_F(t)$: peso seco por metro cuadrado (fruto).

$P_T(t)$: peso seco por metro cuadrado (total).

$H_V(t)$: humedad volumétrica (en el suelo).

$u(t)$ Señales de Control.

Cabe destacar que es necesaria una interfaz de potencia no esquematizada en la

Figura 25 luego de bloque Controlador, por ejemplo para activar las bombas de riego.

$y(t)$: Señales observables en el cultivo. Un conjunto de señales puede estar dado por el nivel de reflectancia del follaje y el de fotosíntesis, ambos índices del estado del cultivo.

$y^{\wedge}(t)$: modelo matemático del sistema.

$e(t)$: señal de error entre el modelo matemático y la salida real del sistema.

$\theta(t)$: parámetros enviados al controlador y que contribuyen a minimizar los errores entre el modelo y la salida real.

Perturbaciones: puede emplearse modelos matemáticos de perturbaciones para ensayar el sistema y su respuesta ante éstas, ó pueden ser lecturas erróneas en los sensores ya sea por suciedad, deterioro, vandalismo, etc.

El objetivo de proponer este sistema de control es saber cuándo y cuánto regar (frecuencia de riego y caudal irrigado respectivamente). Para de mantener un estado óptimo del cultivo, el diseño de un sistema debe contar con información del medio, y esto se hace, en la mayoría de los casos, con diversos **Sensores** según el parámetro que nos interese medir. En caso de la ausencia de un sensor para una variable dada, se pondrá un **Observador** que contemple el estado de dicha variable en todo momento.

En cada etapa fenológica, las plantas tienen diferentes requerimientos hídricos, incluso a lo largo de un solo día, y según las condiciones del medio en el que se encuentre, sus requerimientos serán diferentes.

El empleo de este sistema se justifica en la obtención del producto final de cada cultivo dado. Por ejemplo, si se trata de una aplicación en floricultura, en cierto estadio de su desarrollo al agregarle más agua de la que necesita, crece más rápido, pudiendo así florecer antes de tiempo. Esto es importante a la hora de tener calendarios de ventas, fechas límites para exportaciones, etc. Otro ejemplo se da en el riego de árboles frutales, que irrigados en cierto tiempo y de manera correcta producen un fruto de mayor tamaño. En todas estas situaciones, se obtiene indirectamente una rentabilidad extra en la actividad.

Además de los beneficios descritos anteriormente, existen otros relacionados al cuidado del medioambiente y principalmente el empleo a necesidad del agua, el recurso indispensable para la actividad agropecuaria en climas áridos (uso rentable de los recursos).

Como se destaca en [34], “el método más directo de cuando regar, es monitorear a la planta directamente”, para así tomar los requerimientos hídricos reales de las plantas.

Interfaz Gráfica de Usuario IGU

La aplicación para la interfaz de usuario llamada *Sistema SHH-1*, se realizó en lenguaje **visual basic 6.0** por la rapidez de implementación y depuración. El diseño es sencillo y su apariencia se puede observar en la Figura 26.

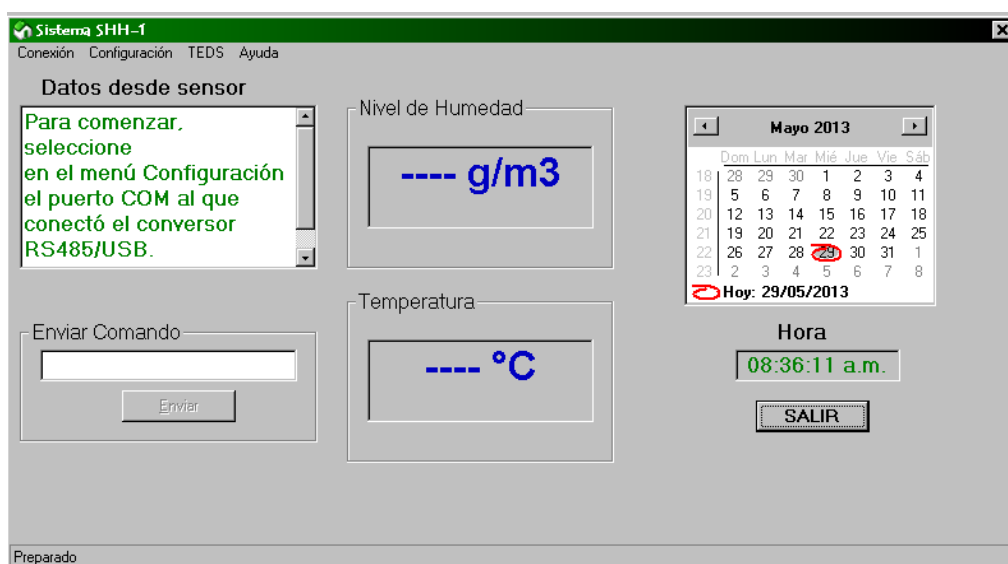


Figura 26: IGU SHH-1 (pantalla al iniciar la aplicación)

Fuente: elaboración propia con software Visual Basic 6.0

La IGU dispone de 4 menús:

- **Conexión:** desde acá se puede Establecer ó Cortar la conexión con el sensor a través de un puerto COM disponible en el PC y Salir de la aplicación.
- **Configuración:** contiene los parámetros para configurar el puerto COM.
- **TEDS:** desde este menú se puede acceder al manejo de las TEDS (Transducer Channel TEDS y/o User's Channel Name TEDS)

- **Ayuda:** Presenta una pantalla de Créditos de la aplicación.

En el recuadro debajo de la leyenda **Datos desde sensor** de la Figura 26, se visualiza la información suministrada por el sensor. Los comandos IEEE 1451 se envían desde el sector denominado **Enviar Comando** y finalmente la humedad se visualiza en el área llamada **Nivel de Humedad**. Además, la aplicación dispone de un calendario y reloj en tiempo real, los que se actualizan con la fecha y la hora de la PC respectivamente.

La Figura 27 muestra la ventana de la lectura de las TEDS. Se debe seleccionar una opción para leer y presionar el botón Leer.

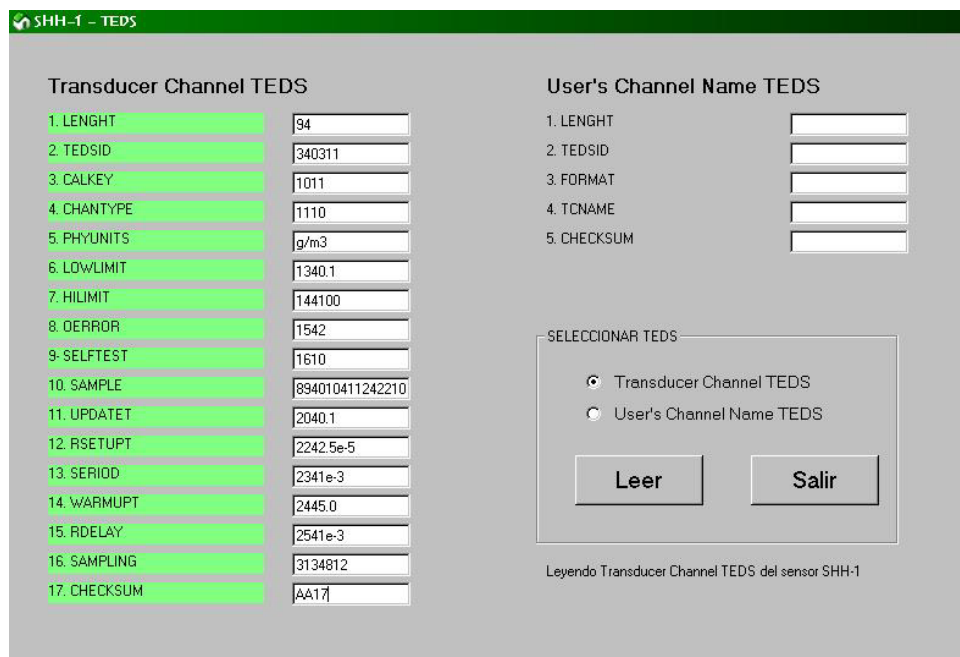


Figura 27: Ventana de lectura de TEDS.

Fuente: elaboración propia con software Visual Basic 6.0

Los datos provistos por el sensor llegan al PC por un puerto COM disponible en él a través de un conversor UCOM RS485/USB de la firma *MICRO AXIAL* (se puede emplear cualquier conversor RS485 to USB). Se debe conectar el conversor en algún puerto USB e iniciar el programa. Al energizar el sensor y conectarlo al conversor, se estará en condiciones de emplear el sistema. La Figura 28 muestra el conversor y la forma de conectarlo para una comunicación *half-dúplex*; se debe respetar las polaridades de los cables, de no ser así, se obtendrán datos erróneos e inclusive ilegibles.

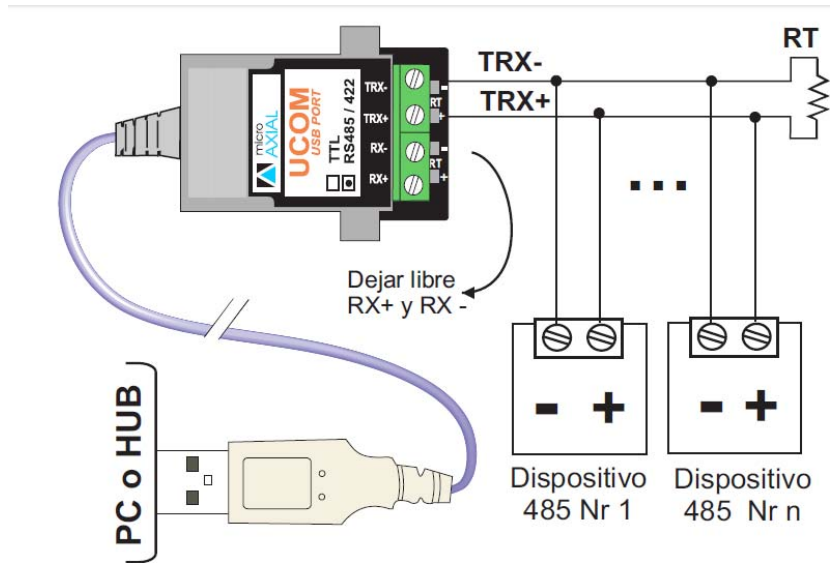


Figura 28: RS485 conexión half-duplex

Fuente: hoja de características del UCOM 2060 Rev. 2.0 con aislación galvánica.

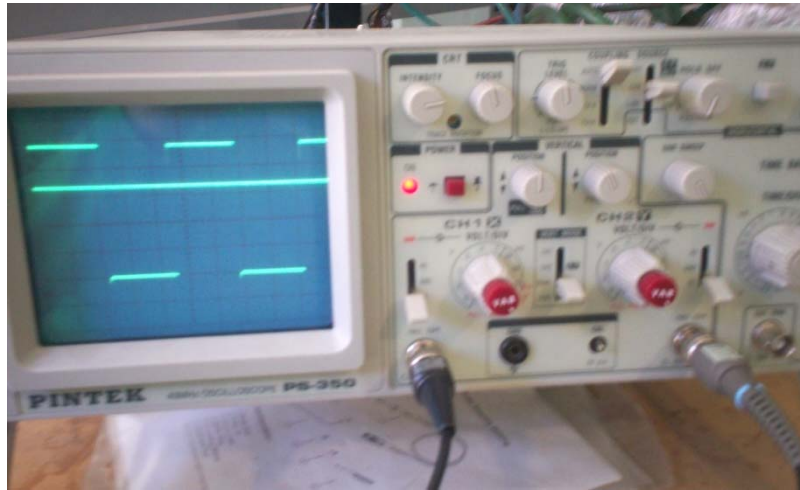
La interfaz no requiere demasiados conocimientos informáticos. Aunque se trata de una primera versión, en esta se puede enviar diversos comandos definidos en secciones previas e interactuar con el sensor.

Capítulo 3

Resultados y Conclusiones

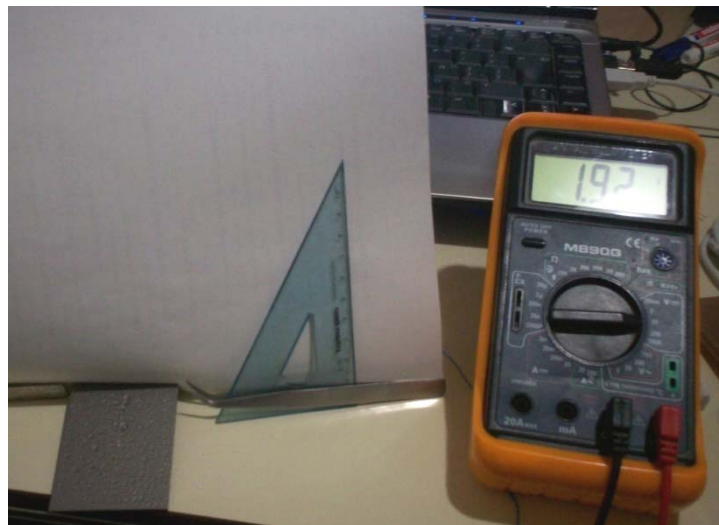
Resultados

Primero se logró obtener una señal cuadrada de aproximadamente 10 KHz configurando el CI 555 como astable, según su hoja característica. La Fotografía 4 muestra la señal de salida por el pin 3 del integrado 555 y el nivel de tensión de continua en la salida de la etapa de amplificación de la señal de la Figura 17.



Fotografía 4: Señal Cuadrada del 555 y salida de la etapa de amplificación.

Las primeras experiencias fueron alentadoras ya que con el circuito de acondicionamiento de la capacitancia variable en función de la humedad (Figura 16), se logró medir pequeñas cantidades de agua en la superficie sensora.



Fotografía 5: Detección de humedad

La Fotografía 5 muestra una de las pruebas, con una cantidad considerable de gotas de agua, esparcidas sobre la superficie sensora con un rociador común. La salida de la etapa amplificadora se mide con un multímetro; en este caso se obtuvo 1,92 Vdc. Cabe aclarar, que la hoja electrónica se aisló previamente con pintura epóxica *Rust-Oleum* color plata como se puede observar abajo a la izquierda en la Fotografía 5.

La Figura 29 ilustra el encendido, el envío de tres comandos y la respuesta del sensor y su visualización mediante el software Hercules.

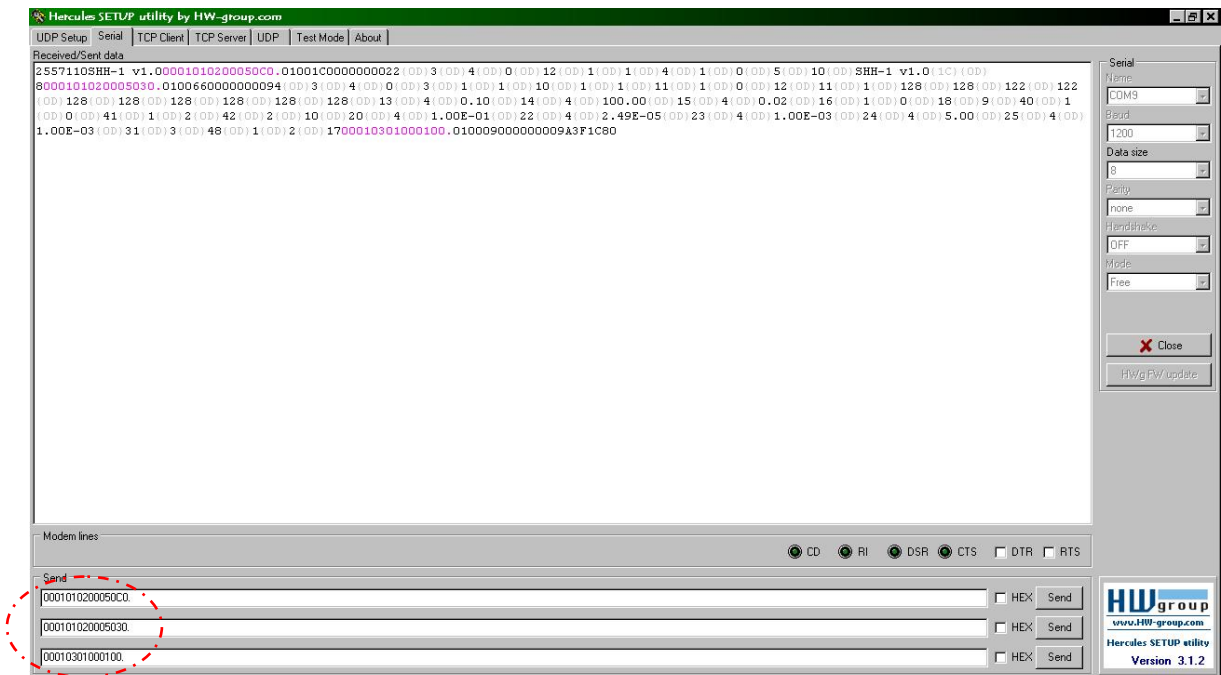


Figura 29: Recepción de comandos IEEE 1451.0

Se puede fácilmente comparar que los comandos (números en color en la Figura 29 enviados desde la parte inferior en el programa señalado con rojo) corresponden a la lectura de Channel Name TEDS, Transducer Channel TEDS y a la lectura de la Humedad.

Se midió que el sensor tiene un consumo de $33,1 \pm 2,662$ mA en estado estacionario y $43,9 \pm 2,878$ mA en modo transmisión ó recepción de datos medidos con un multímetro *Mega Lite M890G*.

Conclusiones

En el presente trabajo, se ha presentado el desarrollo de un sensor inteligente para la medición de humedad en el follaje denominado **SHH-1**.

Al explorar las distintas tecnologías de medición de hoja mojada (capacitiva, resistiva, por radiación, etc), se seleccionó el acondicionamiento capacitivo por ser el más acorde a los lineamientos de transmisión de la información, crear un desarrollo de sensor no destructivo ni invasivo y capacidad de integración en sistemas automáticos; además de contar con tecnología en el mercado regional para realizar dicho diseño.

Luego de la concepción de la propuesta y las pruebas sobre el prototipo, se puede decir que el sensor tiene la sensibilidad suficiente como para ser integrado a un sistema de control de riego automático, pudiendo a su vez realizar una aplicación hacia la agricultura de precisión, lo que es una tendencia mundial hoy en día.

Las primeras experiencias determinaron que es posible medir pequeñas cantidades de agua, que este dato se puede digitalizar, procesar y transmitir, lo que es coherente con la hipótesis que se tenía inicialmente.

El sensor es competitivo en cuanto a sus características técnicas en comparación a los presentados en la sección “Sensores Comerciales” del Capítulo 1, con la ventaja agregada de ser compatible con el estándar IEEE 1451; con capacidad de reconocer comandos externos y su hoja electrónica de datos (TEDS) que permite su fácil inserción en redes de nodos inteligentes.

La propuesta del sistema de control queda de manera tal que pueda continuarse su validación en trabajos posteriores; se tiene gran expectativa en este sentido ya que existen otros trabajos que emplearon este modelo y tuvieron éxito [6]. No se enfatizó en el desarrollo matemático del sistema ya que queda fuera del alcance de este proyecto.

La interfaz gráfica de usuario es amigable y práctica. Se puede escribir los comandos hacia el sensor y leer diversos parámetros desde él. Fue desarrollada en lenguaje Visual Basic 6.0, pudiendo mejorarla en un futuro como lo prevé el apartado siguiente de trabajos futuros.

Teniendo en cuentas los resultados obtenidos, se puede decir que se ha cumplido con los objetivos propuestos, no obstante, quedan trabajos para continuar desarrollando y se comenta algunos de ellos en la sección de “Líneas Futuras” más

adelante. Adicionalmente, se aplicaron conocimientos de los adquiridos a lo largo del cursado de materias de la carrera Ingeniería Electrónica, tales como instrumentación electrónica, teoría de control entre otras, en un diseño práctico en respuesta a temas de interés actuales, relacionados con la detección de contenido de agua en la vegetación y el riego de precisión.

Características Técnicas del Sensor SHH-1

Las especificaciones técnicas de este sensor son:

- Tipo de sensor: capacitivo (dieléctrico).
- Tiempo de disparo entre mediciones: 100 ms.
- Alimentación: 5 Vdc.
- Consumo estacionario: 33 mA.
- Consumo en Tx/Rx: 44 mA.
- Compatibilidad con estándares: IEEE 1451.
- Comunicación: half-dúplex vía RS485.
- Salida: 300 mV a 3 V.
- Rango de temperatura operativo: -20 °C a 60 °C.
- Precisión de humedad: 2%.
- Precisión de temperatura: $\pm 0,25$ °C
- Longitud del cable: máx. 1200 m.
- Tipo de conector: RJ-11.
- Dimensiones (longitud x ancho x alto): 180x75x50 mm.
- Área sensora: 32,5 cm².
- Peso: 170 gramos.

El prototipo terminado se muestra en la Fotografía 6.



Fotografía 6: sensor SHH-1 capacitivo.

Líneas Futuras

La validación de la propuesta es un trabajo que sin dudas continuará en el tiempo. Los trabajos futuros pueden derivarse en tres grandes categorías:

- **Sistema de Control:** Sería deseable continuar con el modelado matemático y validación del sistema de control propuesto. La implementación en campo de la propuesta será la principal tarea a desarrollar posteriormente, para verificar el desempeño del sensor frente a condiciones reales de trabajo.
- **Estándar IEEE 1451:** La implementación de los algoritmos de autocalibración como lo propone el estándar IEEE 1451 mediante sus TEDS de Calibración es un tema pendiente para el desarrollo actual pudiendo emplearse algoritmos de regresión lineal, así como también el desarrollo de algoritmos de autoidentificación en una red de sensores. El desarrollo de un STIM a partir del hardware disponible sería deseable. Se determinó físicamente a todo el puerto C del microcontrolador para la interfaz de 10 líneas prevista por el estándar IEEE 1451.2, para la conexión de un NCAP con un STIM.
- **Hardware y Software:** A nivel de hardware, existe una teoría bastante amplia sobre incrementar la frecuencia de trabajo alrededor de los 50 MHz para la parte de acondicionamiento de la capacitancia. Básicamente, a 50 MHz, la salinidad del agua no afecta la medición y se puede despreciar la componente imaginaria de la constante dieléctrica del medio circundante. La miniaturización del diseño actual viene dado por la disponibilidad tecnológica de los componentes empleados, aunque no es imprescindible que se emplee

microcontroladores PIC de *Microchip*, estos poseen mayor disponibilidad a la hora de acceder a integrados programables en esta región del país. La interfaz gráfica también podría ser una mejora posible, ya que en este trabajo sólo se empleó los recursos del lenguaje Visual Basic 6.0 que es algo básico y simple en comparación con nuevos lenguajes con mejor entorno gráfico como LabView, Java, C#, etc.

Glosario

Abscisión: Perder una o más partes de la planta (hoja, fruto, flor ó semilla) al no ser necesario.

Alcance: valor máximo menos el valor mínimo de la variable de entrada.

Calibración: procedimiento de ajuste y contraste de un instrumento contra otro que se conoce como patrón o que posee una mejor clase ó sensibilidad, ó simplemente de calidad superior.

Campo de medida (rango): intervalo de valores comprendido entre el mínimo y el máximo que puede medir el sensor. Se debe corresponder con el margen de variación esperado de la magnitud a medir.

Canopia: dósel arbóreo o dosel forestal, es la región que comprende la copa y todo el hábitat superior de las plantas. Capa superior de hojas en un árbol.

CI: Circuito Integrado (en inglés *IC Integrated Circuit*).

Constante Dieléctrica ó Permitividad Relativa: relación entre la capacitancia con dieléctrico a la capacitancia sin él de un condensador.

Curva de calibración (curva de transferencia estática): describe el comportamiento o respuesta estática del sensor o instrumento de medida. Relaciona cuantitativamente la entrada con la salida.

Error de medida: desviación a partir del valor real de la variable medida.

Estoma: pequeños orificios o poros en las hojas, localizados generalmente en el envés.

Estrés Hídrico: cuando la accesibilidad al agua por parte de la planta se dificulta.

Exactitud: cuando un instrumento es veraz preciso. Normalmente, se define como el grado de aproximación con el cual la lectura de un instrumento se acerca al valor real de la variable medida.

Fenología: rama de la agrometeorología que trata de las relaciones entre las condiciones climatológicas y los fenómenos biológicos periódicos.

Ganancia: relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada.

Half-dúplex: tipo de comunicación en el que la transmisión y la recepción se producen en tiempos diferentes.

Histéresis: diferencia máxima para un mismo valor de entrada en la curva de calibración de un sensor cuando se recorre su rango de medida en ambos sentidos, ascendente y descendente.

Humedad Absoluta (ambiente): cantidad de vapor de agua (generalmente en medida en gramos) por unidad de volumen de aire ambiente (generalmente medidos en metros cúbicos).

Humedad Relativa (ambiente): grado de humedad, relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura. Se expresa en porcentaje.

Humedad Volumétrica (suelo): relación entre el volumen de agua y el volumen total del suelo.

Instrumento: dispositivo para determinar el valor o la magnitud de una cantidad o variable.

Precisión: coincidencia de una gran cantidad de medidas de una magnitud.

Punto de rocío: se define como la temperatura a la cual el aire se enfría para que ocurra la condensación (saturación), depende de la concentración de vapor de agua presente, y por lo tanto de la humedad relativa además de la temperatura del aire.

Resolución: mínima variación en la entrada que hace visible alguna salida detectable.

Salida a fondo de escala: valor máximo menos el valor mínimo de la variable de salida.

Senescencia: tipo de muerte celular programada.

Sensibilidad: es la pendiente de la curva de calibración. Normalmente se define como la relación entre la señal de salida y el cambio en la entrada

Veracidad: grado de concordancia del promedio de una gran cantidad de medidas de una magnitud, con el valor verdadero.

Referencias

- [1] Pérez García, M.A.; Álvarez Antón, J.C.; Campo Rodríguez, J.C.; Ferrero Martín, F. J.; Grillo Ortega, G.J. "Instrumentación Electrónica". Ed. Thomson – 2004.
- [2] Smith, R.J., Baillie, J.N., McCarthy, A.C., Raine, S.R. & Baillie, C.P. (2010) Review of Precision Irrigation Technologies and their Application. National Centre for Engineering in Agriculture Publication 1003017/1, USQ, Toowoomba.
- [3] Schugurensky C., Capraro F. "Control Automático de Riego con Sensores Capacitivos de Humedad de Suelo. Aplicaciones en Vid y Olivo". INAUT. UNSJ. Argentina.
- [4] "Dispositivo sensor capacitivo para la medición de la humedad volumétrica y la temperatura de un medio circundante". N/Ref.: 1246 AR. Presentada ante la Administración Nacional de Patentes el 10 de Noviembre de 2005 habiéndole correspondido el No. P 05 01 04714. (En trámite). Publicada en la Pag. 30 del Boletín de Patentes del Instituto Nacional de la Propiedad Industrial, N° 390 ISSN - 0325 – 6545 del 17 de enero de 2007.
- [5] Y. Hashimoto, I. Farkas, H. Murase, E.R. Carson, A. Sano. "Control approaches to bio- and ecological systems". Control Engineering Practice 12 (2004) 595–603.
- [6] Capraro, F., Shugurensky, C., Vita, F., Tosetti, S., Lage, A., Pucheta, J. "Intelligent irrigation control in agricultural soils: an application to grapevines". Anales de la XII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, XII RPIC, Universidad Nacional de la Patagonia Austral Unidad Académica Río Gallegos, Argentina. (2007).
- [7] S. Miresmailli, D. Badulescu, M. Mahdavian, R. Zamar and M. Isman. "Integrating plant chemical ecology, sensors and artificial intelligence for accurate pest monitoring". In: Tomatoes: Agriculture Procedures, Pathogen. ISBN: 978-1-60876-869-1. Eds E. Aube and F. Poole. 2009 Nova Science Publishers, Inc.
- [8] Adamchuka, E.D. Lund, B. Sethuramasamyraja, M.T. Morgan, A. Dobermann, D.B. Marx. "Direct measurement of soil chemical properties on-the-go using ion-selective electrodes". V.I.. Computers and Electronics in Agriculture 48 (2005) 272–294.
- [9] Adrian, A., Norwood, S., Maskc, P., 2005. "Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies". Computers and Electronics in Agriculture, Volume 48, Issue 3, September 2005, Pages 256-271.
- [10] Empresa con presencia mundial en materia de riego. <http://www.netafim-latinamerica.com/worldwide>
- [11] Schugurensky C., Fullana R. "Sensor Capacitivo del Contenido de Agua en la Vegetación". INAUT. UNSJ. Argentina. Septiembre de 2010. AADECA 2010- XXII Congreso Argentino de Control Automático.

- [12] Schugurensky C., Fullana R. "Review of Vegetation Water Content measurement technologies". INAUT. UNSJ. Argentina. 2010.
- [13] Duncan Mara, Sandy Cairncross."Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture". ISBN: 92 4 154248 9. World Health Organization, Geneva. (1989).
- [14] ONU-Agua. http://www.unwater.org/discover_es.html
- [15] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. http://www.fao.org/index_es.htm
- [16] *Decagon Devices* firma norteamericana que diseña, construye y comercializa instrumentos científicos. <http://www.decagon.com>
- [17] Página Chilena que comercializa en LWS de *Decagon Devices*. <http://www.solostocks.cl/venta-productos/instrumentos-medicion-analisis/instrumentos-deteccion/sensor-de-humedad-de-hoja-265480>
- [18] Página Chilena que comercializa el sensor dieléctrico de humedad de hoja de *Decagon Devices*. <http://www.ambimet.cl/equipos-cientificos/equipos/sensor-de-humedad-de-la-hoja.html>
- [19] Página Peruana que comercializa el sensor de humedad de hoja resistivo de *Davis*. http://www.davisperu.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage_pbv.v5.tpl&product_id=9&category_id=10&option=com_virtuemart&Itemid=20&vm_cchk=1&Itemid=20
- [20] Empresa Argentina que comercializa el sensor dieléctrico de humedad de hoja SHM-1. <http://www.cavadevices.com/sensores.html>
- [21] Santos, L. Pereira; de Juan Valero, A. José; Picornel Biendía, M. Raquel; Tarjuelo Martín-Benito; J. M^a. "El Riego y sus Tecnologías" Centro Regional de Estudios de Agua. Universidad de Castilla- La Mancha. Albacete. España. Marzo de 2010.
- [22] Empresa de venta nacional de sistemas de riego. <http://www.dripsa.com.ar/>
- [23] Areny R. Pallás "Sensores y Acondicionadores de Señal" 4^o Edición. Ed: Marcombo
- [24] Página de la firma italiana Siap+Micros. <http://www.siapmicros.com/en/>
- [25] Díaz, G.A. "Desarrollo de una Estación de Telemetría para Aplicación Industrial". UNCA – FTyCA. 2009.

- [26] Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. "Evapotranspiración del Cultivo-
Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos" FAO
-2006
- [27] "Las Plantas y el Agua". Texto elaborado por la Cátedra de Fisiología vegetal.
Facultad de Agronomía, UBA.
- [28] <http://www.nist.gov/index.html>
- [29] <http://www.ieee.org/index.html>
- [30] Redondo Expósito, J. "Estudio y Elaboración de una Guía de Implementación
del Estándar IEEE 1451 para Redes Inalámbricas" Universidad Pública de
Navarra- España- 2010.
- [31] IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators -
Common Functions, Communication Protocols, and Transducer Electronic Data
Sheet (TEDS) Formats. IEEE Std 1451.0™-2007
- [32] IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-
Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer
Electronic Data Sheet (TEDS) Formats. IEEE Std 1451.2-1997
- [33] L. Prytula. "Sensor Inteligente". Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Porto Alegre. 2011.
- [34] Sánchez Reyes C. "Sistemas de Riego: Uso, Manejo e Instalación". Ed.
RIPALME. 2005.

Anexo I - Medición de humedad y temperatura en hoja

Lectura de humedad

En esta sección se presentan distintas mediciones según se iba avanzando en el desarrollo del sensor. Las pruebas básicamente consistían en proporcionarle cantidades variables de agua al área sensora.

La Figura 30 muestra una porción de una captura de pantalla de la utilidad Hercules recibiendo datos seriales correspondientes a la detección de humedad obtenida por el sensor diseñado SHH-1. En esta prueba, el sensor envía una lectura cada 10 segundos. Los datos son en formato de punto flotante con dos caracteres de formato especiales (0D y 0A) para distinguir entre valores consecutivos de humedad.

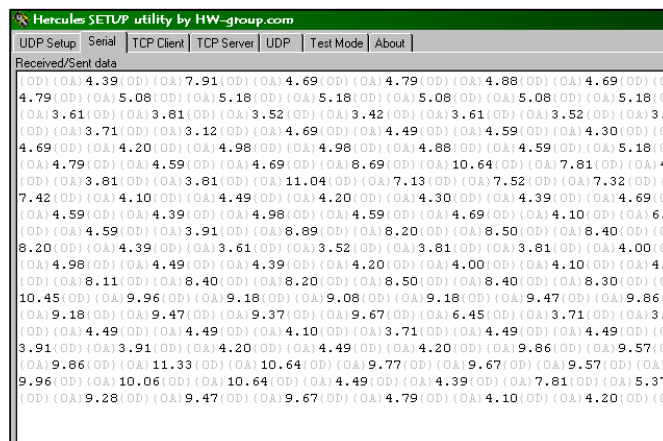


Figura 30: Lectura de la Humedad con software Hercules.

La Figura 31 muestra al sensor en otra prueba, en este caso, cuando se satura el sensor sumergiéndolo en un vaso con agua como lo muestra la Fotografía 7.

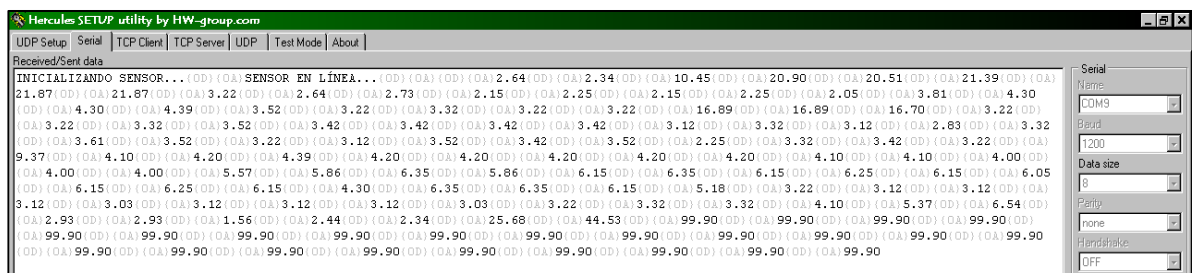
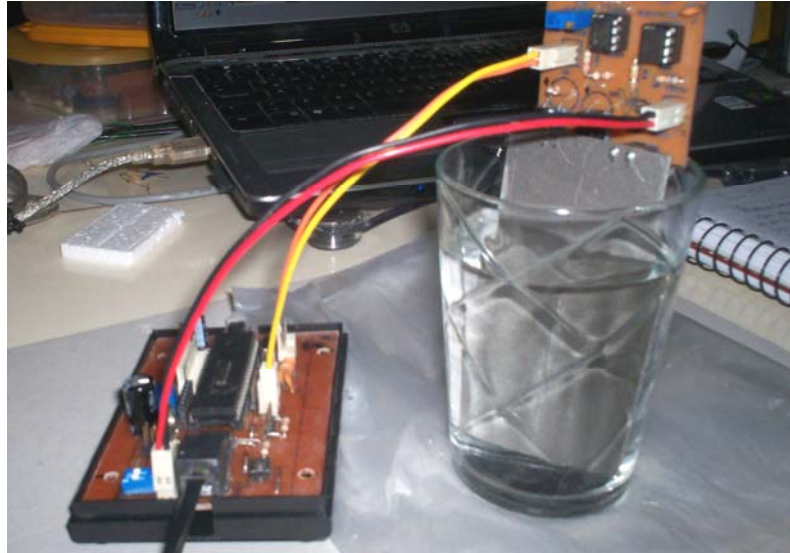


Figura 31: Saturación del sensor.



Fotografía 7: Sensor sumergido en vaso de agua.

Lectura de temperatura

La estabilidad y precisión de la temperatura obtenida por el sensor SHH-1 se contrastó con dos instrumentos:

- Con una termopar (termocupla con cable blanco- ver Fotografía 8) tipo K modelo TP-01 (-50 a 400 °C) provisto en el multímetro digital M890G MEGALITE. La precisión de la medida es de $0,75\% \pm 2,5$ °C.
- Con un termómetro de bulbo para interiores (de ambiente). Marca Luft Germany modelo T208. Rango -30 a 50 °C. La precisión obtenida es de $\pm 0,5$ °C.



Fotografía 8: Medida de temperatura.

La Fotografía 8 muestra la disposición (de izq. a der.) del sensor SHH-1, el termómetro, la termocupla conectada al multímetro y una imagen ampliada del termómetro. Se obtuvieron los siguientes valores de temperatura ambiente:

- Termómetro: $19,5\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$.
- Termopar: $17\text{ °C} \pm 2,6275\text{ °C}$.

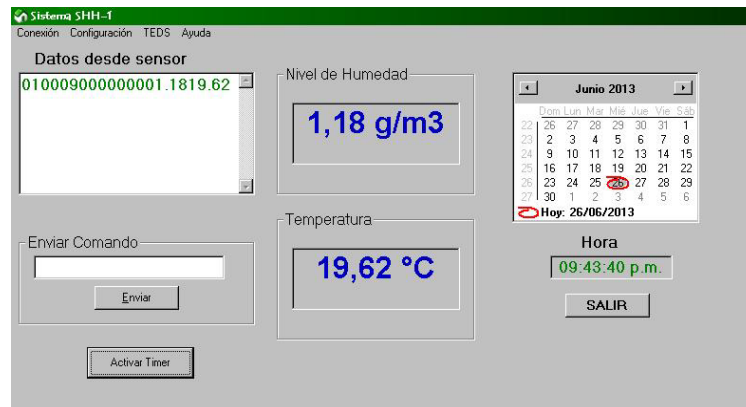
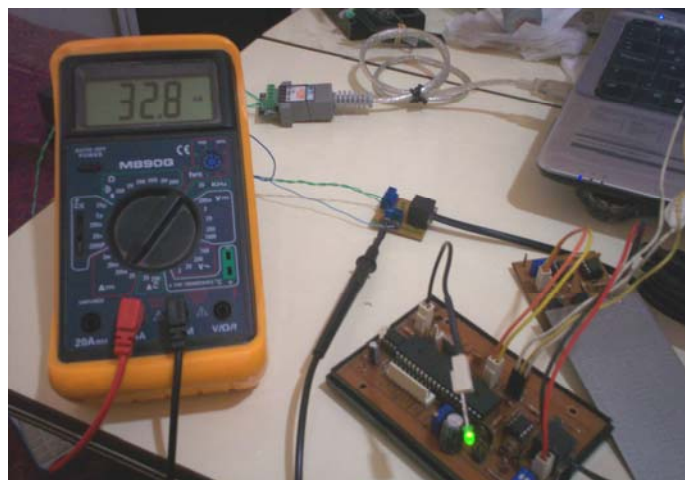


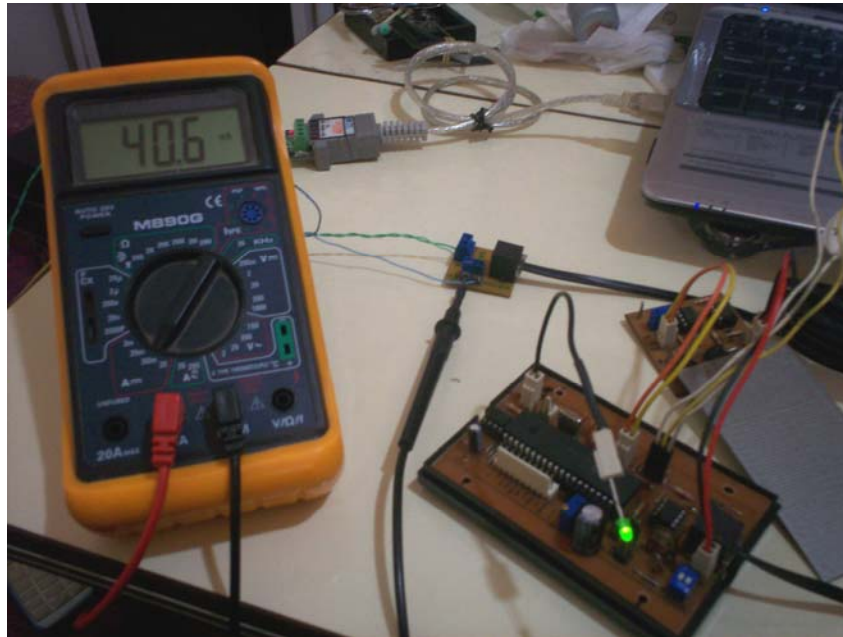
Figura 32: Temperatura en la IGU.

La Figura 32 muestra el dato de temperatura obtenido desde el sensor: $19,62\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$; así como también el nivel de humedad correspondiente. Así, el sensor presenta buena estabilidad en la lectura de temperatura referido al termómetro de bulbo tomado como patrón.

La Fotografía 9 muestra el **consumo del sensor** en modo estacionario. Se puede apreciar en el multímetro $32,8\text{ mA}$. La Fotografía 10 muestra el consumo en modo TX/RX: $40,6\text{ mA}$.



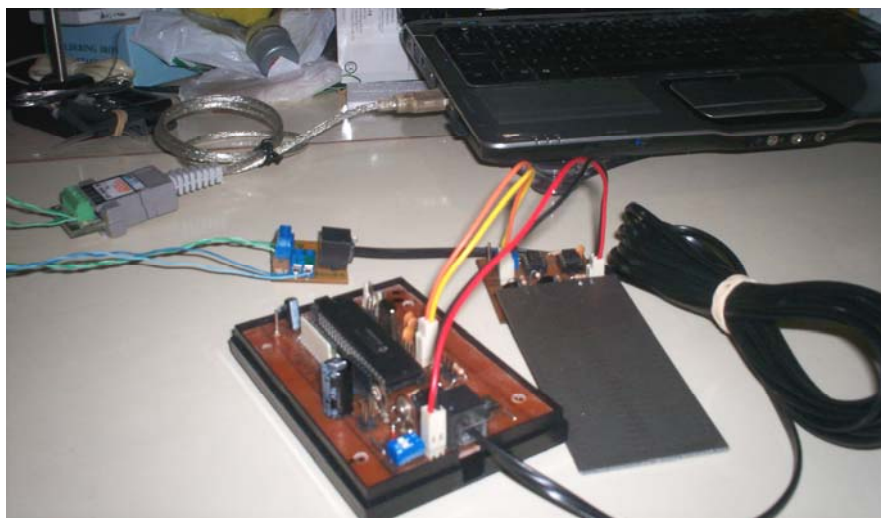
Fotografía 9: Consumo estacionario del sensor SHH-1.



Fotografía 10: Consumo en Tx/Rx del sensor SHH-1

La

Fotografía 11 muestra las conexiones con el PC a través de UCOM (conversor RS485/USB); además se aprecia el conector RJ-11 empleado para alimentación y transmisión diferencial de datos por RS485 con un cable plano tipo telefónico de 5



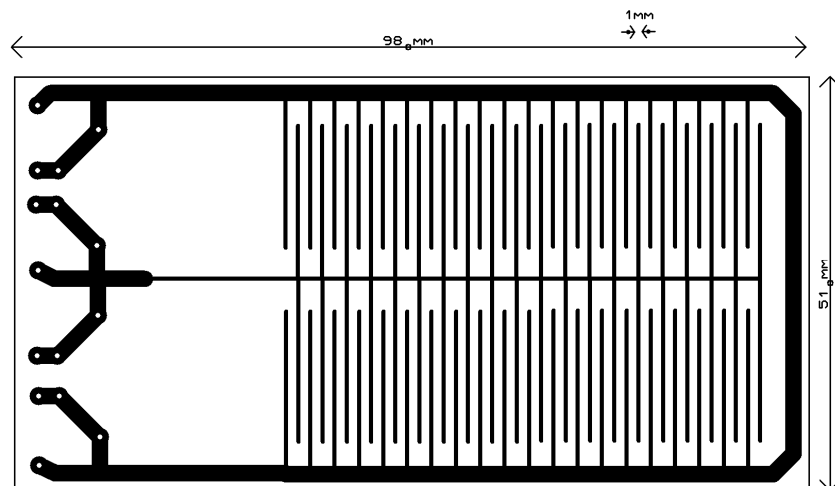
m.

Fotografía 11: Conexión del sensor al PC.

Anexo II - Diseño de placas

En este anexo se presenta el PCB de las placas diseñadas con el software ARES 7 Professional de Proteus 7 Professional. El sensor está dividido en tres partes:

- El capacitor sensor (Figura 33): área sensora de humedad.
- Circuito de acondicionamiento (Figura 34): amplificador de carga y amplificador de señal no inversor con IC LM358, un oscilador a 10 KHz con un IC 555 y soporte para el condensador sensor.
- Placa principal (Figura 35): con el microcontrolador PIC16F877A, sensor de temperatura con LM35, transreceptor SN75176 RS485/422 y



componentes varios.

Figura 33: Área sensora.

Fuente: Diseño propio con Software ARES 7 Professional.

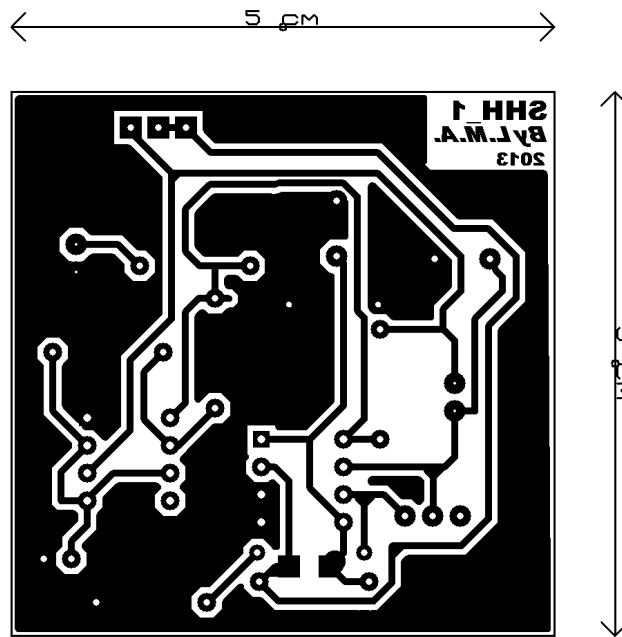


Figura 34: Placa de Acondicionamiento (diseño analógico).
Fuente: Diseño propio con Software ARES 7 Professional.

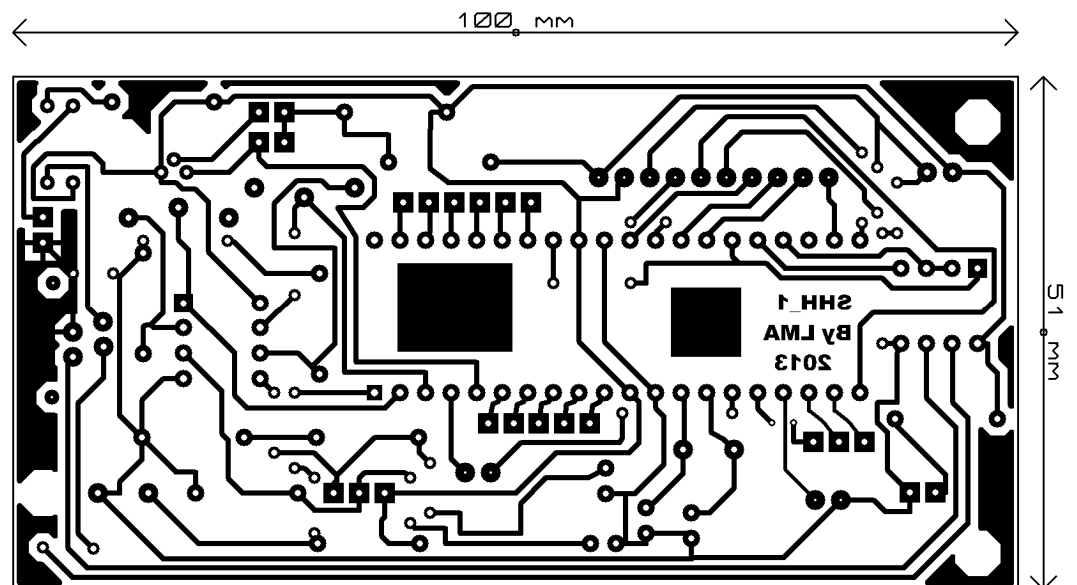


Figura 35: Placa Principal (diseño digital).
Fuente: Diseño propio con Software ARES 7 Professional.

Anexo III – Código Fuente del microcontrolador

Se presenta a continuación el código en lenguaje C desarrollado para el microcontrolador PIC 16F877A. Se aclara que este se imprimió directamente desde el compilador CCS y en colores para una mejor comprensión para el lector o referencias futuras.

```

////////////////////////////////////
//
// Source code for Leaf Wetness Sensor SHH_1 v 1.0
// © 01.07.2013 By Lucas Matías Arjona
// Hardware: PIC16F877A
// Crystal: 4 Mhz
// Compilador: CCS PICC IDE v 4.023
////////////////////////////////////
//
#include <16F877A.h>
//#device *=16
#device adc=10
#FUSES WDT
#FUSES XT
#FUSES NOBROWNOUT,NOLVP
#use delay(clock=4000000,RESTART_WDT)
#use
rs232(baud=1200,parity=n,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,stream=
pc)
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <internal_eeeprom_string.c>
#ZERO_RAM
#PRIORITY RDA
#use standard_io(c)
#use standard_io(b)

```

```

#use standard_io(a)

#byte trisb = 0x86

#byte portb =0x06

#byte trisa = 0x85

#byte porta =0x05

/*****/

/***** prototipos de funciones *****/

/*****/

float temperature (float); //prototipo de función que devuelve
el valor de temperatura obtenido del lm35.

float leaf_wetness (float); //prototipo de función que devuelve
el valor de humedad de la hoja.

void escritura_sensor_teds (void); //prototipo de función que
escribe los parámetros del sensor en la teds TRANSDUCER
CHANNEL TEDS.

void escritura_nombre_sensor_teds (void); //prototipo de
función que escribe el nombre del sensor en la teds USER'S
CHANNEL NAME TEDS.

void lectura_sensor_teds (void); //prototipo de función que lee
los parámetros del sensor en la teds TRANSDUCER CHANNEL TEDS.

void lectura_nombre_sensor_teds (void); //prototipo de función
que lee el nombre del sensor en la teds USER'S CHANNEL NAME
TEDS.

void addcbuff(char c); // añade caracter recibido al buffer

void procesa_comando(void); // Procesa comando

void inicbuff(void); // Borra buffer

void mensaje_respuesta_ieeel451 (float); //función que devuelve
respuesta en formato ieeel451.0

```



```

void mensaje_inicio_ieee1451 (void); //función que devuelve el
mensaje de inicio o energización del sensor en formato
ieee1451.0

/*****
/*****      constantes      *****/
/*****
int const lenbuff=22;    // Longitud de buffer
/*****
/*****      variables globales      *****/
/*****

INT16 ESTADO=0b0000000100000000; //REGISTRO DE ESTADO (BIT #8
CANAL OPERATIVO)

int16 contador=0;    //variable para el timer 1

char CADENA_COMANDO[LENBUFF];    //VARIABLE STRING PARA EL
COMANDO

int INDICE;          //INDICE          PARA          LA
CADENA_COMANDO

float temperatura;

float humedad_hoja;

int1 flagcommand;

int8 exito_comando=0;

/*****
/*****      interrupciones      *****/
/*****

#int_TIMER1 //SERVICIO DE INTERRUPCION POR DESBORDAMIENTO DEL
TIMER_1

void TEMP1S()

{

```

```

contador++;

} //END TIMER1 SERVICE

#int_RDA //SERVICIO DE INTERRUPCION POR RECEPCION SERIE DE
DATOS

void RDA_isr()

{

    CHAR C;

    IF (BIT_TEST(ESTADO.8)==0)

    {

        // output_high(PIN_C5);

        //PUTS("SENSOR BLOQUEADO");

        //output_low(PIN_C5);

        C=GETC();

        ADDCBUFF(C);

    }

    ELSE

    {

        C=GETC();

        ADDCBUFF(C);

    }

} //END RDA_SERVICE

/*****

/*****          funcion principal          *****/

/*****/

void main()

{

    Int8  j;

```

```

setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN4_VSS_VREF);

setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_64);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);setup_wdt(WDT_2304MS);

setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);

/* tiempo de desbordamiento tmr1 t=tcm*prescaler*(65536-carga
tmr1)

donde tcm =4/fosc

si t=0.524288s y tcm=1us (a 4MHz) */
//INICIO: GRABA TEDS EN EEPROM . . .

escritura_sensor_teds();
escritura_nombre_sensor_teds();

inicbuff();

mensaje_inicio_ieee1451 ();

//INICIALIZAMOS ALGUNAS DE LAS VARIABLES GLOBALES

enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(INT_TIMER1);
enable_interrupts(GLOBAL);

set_timer1(0);

temperatura = 0;
humedad_hoja = 0;
flagcommand = 0;
INDICE = 0;
while(BIT_TEST(ESTADO,8)==1)
{
    restart_wdt();

    if (contador >=6)          //A 4MHZ

```

```

//16 se asegura un retardo de aprox.
8s

{
//58 se asegura un retardo de
aprox. 30s

    contador=0;        //116 --> 1 minuto

                        //574 --> 5 minutos

                        //6867 --> 1 hora

    ESTADO = 0b0000000100000001;

    restart_wdt();

} //end if contador

//CICLO DE 10 LECTURAS Y CÁLCULO DEL PROMEDIO DE HUMEDAD

acumulador =0;

for (j=0;j<10;j++)

{

    ACUMULADOR =0;

    HUMEDAD_HOJA=0;

    humedad_hoja = leaf_wetness(humedad_hoja);

    acumulador = acumulador + humedad_hoja;

} //end for 10 lecturas

humedad_hoja = acumulador/10;

//FINALIZO CICLO DE 10 LECTURAS, REGISTRO DE ESTADO SOLICITUD
DE SERVICIO BIT #0

//SET EVENTO/DATO BIT #6

    ESTADO = 0b0000000101000001;

//ID DEL SENSOR VALOR UNO (ID = 0001)

if(flagcommand==1&&CADENA_COMANDO[0]=='0'&&CADENA_COMANDO[1]=='
'0'&&CADENA_COMANDO[2]=='0'&&CADENA_COMANDO[3]=='1')

```

```

procesa_comando(); // Si hay comando lo procesa Y SE TRATA DE
ESTE SENSOR.

} //end while estado.8 ==1 //sensor desbloqueado u operativo.

//sensor no operativo

while(BIT_TEST(ESTADO,8)==0)

{

    RESTART_WDT();

if(flagcommand==1&&CADENA_COMANDO[0]=='0'&&CADENA_COMANDO[1]=='
'0'&&CADENA_COMANDO[2]=='0'&&CADENA_COMANDO[3]=='1')

{

procesa_comando(); // Si hay comando lo procesa Y SE TRATA DE
ESTE SENSOR.

    //output_high(PIN_C5);

    //PRINTF("SENSOR BLOQUEADO");

    //output_low(PIN_C5);

}

} //end while estado.8 ==0 //sensor bloqueado

} //end main

/*****
/***** definición de funciones *****/
/*****/

float temperature (float)

{

    float q0,q1;

    float p0,p1,TEMP,volt,DIFERENCIA; //32

bits

    restart_wdt();

```

```

TEMP=0,Q0=0,Q1=0,P0=0,P1=0,VOLT=0,DIFERENCIA=0;

//LEO LA SEÑAL

set_adc_channel(0);           //habilita el canal 0 del
adc

delay_us(20);

q0=read_adc();               //lee el canal 0
analógico

//LEO GND DIODOS

set_adc_channel(1);         //habilita el canal 1 del
adc

delay_us(20);

q1=read_adc();               //lee el canal 1
analógico

if (q0>q1)//TEMP POSITIVAS
DIFERENCIA=q0-q1;

if (q0<q1) //TEMP NEGATIVAS
DIFERENCIA=q0-q1;

volt=3.0*DIFERENCIA/1024.0;

TEMP=VOLT*100;

return (TEMP);

} //END FUNCIÓN temperature

float leaf_wetness (float humedad)
{

float var=0;

int16 adc=0;

RESTART_WDT();

```

```

TEMPERATURA=0;

set_adc_channel(2);           //habilita el canal
2 del adc

delay_us(20);

adc=read_adc();              //lee el canal 2
analógico

var=(3.0*ADC/1024.0);        //conversion a voltage

/*****
/***** calibración del sensor *****/
/*****

//salida de 0 a 100% (100%/3.0V)

//humedad = 33.3333*var;

//SALIDA EN g/m3

TEMPERATURA=TEMPERATURE(TEMPERATURA);

//H=288,832*Pa/T [g/m3]    //HUMEDAD ABSOLUTA

HUMEDAD=288.832*23.756/TEMPERATURA; //CORRECTO A 25°C

//SI T = 25°C LA HUMEDAD SERÁ 23,02695

RETURN (VAR*33.333);

} //END FUNCIÓN leaf_wetness

//DEFINICION de función que escribe los parámetros del sensor
en la eeprom: TRANSDUCER CHANNEL TEDS.

void escritura_sensor_teds (void)

{

RESTART_WDT();

```

```

//CAMPOS TEDS EN EEPROM
WRITE_INT32_EEPROM(0,94); //LENGHT (94 BYTES SIN CONTAR EL
CAMPO LENGHT)

WRITE_EEPROM(4,3); //TEDSID
WRITE_EEPROM(5,4);
WRITE_EEPROM(6,0);
WRITE_EEPROM(7,3);
WRITE_EEPROM(8,1);
WRITE_EEPROM(9,1);

WRITE_EEPROM(10,10); //CALKEY
WRITE_EEPROM(11,1);
WRITE_EEPROM(12,1);

WRITE_EEPROM(13,11); //CHANTYPE
WRITE_EEPROM(14,1);
WRITE_EEPROM(15,0);

WRITE_EEPROM(16,12); //PHYUNITS VER!!! FALTAN TLV'S
WRITE_EEPROM(17,11);
WRITE_EEPROM(18,1); //INTERPRETATION
WRITE_EEPROM(19,128); //radianes
WRITE_EEPROM(20,128); //esteroradianes
WRITE_EEPROM(21,122); //m
WRITE_EEPROM(22,122); //kg
WRITE_EEPROM(23,128); //segundos

```



```
WRITE_EEPROM(24,128); //amperes
WRITE_EEPROM(25,128); //kelvins
WRITE_EEPROM(26,128); //moles
WRITE_EEPROM(27,128); //candelas
WRITE_EEPROM(28,128); //extension de unidades

WRITE_EEPROM(29,13); //LOWLIMIT
WRITE_EEPROM(30,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(31,0.1); //10%

WRITE_EEPROM(35,14); //HILIMIT
WRITE_EEPROM(36,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(37,100.0); //100%

WRITE_EEPROM(41,15); //OERROR
WRITE_EEPROM(42,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(43,0.02); //2%

WRITE_EEPROM(47,16); //SELFTTEST
WRITE_EEPROM(48,1);
WRITE_EEPROM(49,0);

WRITE_EEPROM(50,18); //SAMPLE
WRITE_EEPROM(51,9);
    WRITE_EEPROM(52,40); //DATA MODEL
    WRITE_EEPROM(53,1);
    WRITE_EEPROM(54,0);
```

```

WRITE_EEPROM(55,41); //DATA MODEL LENGHT
WRITE_EEPROM(56,1);
WRITE_EEPROM(57,2);
WRITE_EEPROM(58,42); //MODEL SIGNIFICANT BITS
WRITE_EEPROM(59,2);
WRITE_INT16_EEPROM(60,10);

WRITE_EEPROM(62,20); //UPDATET
WRITE_EEPROM(63,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(64,0.1); //100 ms

WRITE_EEPROM(68,22); //RSETUPT
WRITE_EEPROM(69,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(70,2.5E-5);

WRITE_EEPROM(74,23); //SPERIOD
WRITE_EEPROM(75,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(76,1E-3);

WRITE_EEPROM(80,24); //WARMUPT
WRITE_EEPROM(81,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(82,5.0); //5 s

WRITE_EEPROM(86,25); //RDELAYT
WRITE_EEPROM(87,4);
WRITE_FLOAT_EEPROM(88,1E-3);

```

```

WRITE_EEPROM(92,31); //SAMPLING

WRITE_EEPROM(93,3);

    WRITE_EEPROM(94,48); //MODE

    WRITE_EEPROM(95,1);

    WRITE_EEPROM(96,2);

WRITE_INT16_EEPROM(97,0x32AA); //CHECKSUM!!!

//98 BYTES EN EEPROM INTERNA

} //END FUNCION escritura_sensor_teds

//DEFINICIÓN de función que escribe el nombre del sensor en la
eeprom: USER'S CHANNEL NAME TEDS.

void escritura_nombre_sensor_teds (void) {

char nombre_sensor[10];

UNSIGNED INT16 CHECKSUM =0;

UNSIGNED INT16 SUMA=0;

RESTART_WDT();

strcpy(nombre_sensor,"SHH-1 v1.0");

/* GUARDAMOS EN LA EEPROM INTERNA LA ESTRUCTURA DE LA TEDS
NOMBRE DEL SENSOR */

WRITE_INT32_EEPROM(99,22); //LENGTH (22 BYTES SIN CONTAR EL
CAMPO LENGHT)

    WRITE_EEPROM(103,03); //TEDSID

    WRITE_EEPROM(104,4);

    WRITE_EEPROM(105,00);

    WRITE_EEPROM(106,12);

    WRITE_EEPROM(107,1);

```

```

WRITE_EEPROM(108,1);

WRITE_EEPROM(109,04); //FORMAT

WRITE_EEPROM(110,1);

WRITE_EEPROM(111,0);

WRITE_EEPROM(112,5); //TCNAME

WRITE_EEPROM(113,10);

WRITE_STRING_EEPROM(114,10,nombre_sensor);

//RUTINA DE CÁLCULO DE CHACKSUM DESDE LA DIRECCION 99 A LA 123
DE LA EEPROM INTRNA DEL PIC

SUMA= SUMA + ((int16*)READ_INT32_EEPROM(99) +
(int16*)READ_EEPROM(103) + (int16*)READ_EEPROM(104) +
(int16*)READ_EEPROM(105) + (int16*)READ_EEPROM(106) +
(int16*)READ_EEPROM(107) + (int16*)READ_EEPROM(108) +
(int16*)READ_EEPROM(109) + (int16*)READ_EEPROM(110));

SUMA= SUMA + ((int16*)READ_EEPROM(111) +
(int16*)READ_EEPROM(112) + (int16*)READ_EEPROM(113) +
(int16*)READ_EEPROM(114) + (int16*)READ_EEPROM(115) +
(int16*)READ_EEPROM(116) + (int16*)READ_EEPROM(117));

SUMA = SUMA + ((int16*)READ_EEPROM(118) +
(int16*)READ_EEPROM(119) + (int16*)READ_EEPROM(120) +
(int16*)READ_EEPROM(121) + (int16*)READ_EEPROM(122) +
(int16*)READ_EEPROM(123));

CHECKSUM=0xFFFF - SUMA; //definido según el estándar (así se
debe calcular)

WRITE_INT16_EEPROM(124,CHECKSUM); //CHECKSUM

//26 BYTES EN EEPROM INTERNA

} //END FUNCION escritura_nombre_sensor_teds

```

```

/*****          FINAL      GRABACION      DE      TEDS      EN      EEPROM
*****/

//DEFINICIÓN de función que lee los parámetros del sensor de
la eeprom TRANSDUCER CHANNEL TEDS.

void lectura_sensor_teds (void)

{

int p;

UNSIGNED INT16 LENGTH = 0x66; //98BYTES DE TEDS + 4 BYTES DE
OFFSET = 102 BYTES

UNSIGNED INT32 TEDSOffset =0;

RESTART_WDT();

output_high(PIN_C5);

PRINTF(" %X%LX%LX", exito_comando, LENGTH, TEDSOffset);

FPRINTF(PC, "%LU\r", READ_INT32_EEPROM(0)); //LENGTH

output_low(PIN_C5);

for(p=4;p<31;p++)

{

    output_high(PIN_C5);

    restart_wdt();

    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //TEDSID

}/*

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(5));

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(6));

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(7));

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(8));

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(9));

```

```

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(10)); //CALKEY
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(11));
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(12));

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(13)); //CHANTYPE
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(14));
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(15));

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(16)); //PHYUNITS
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(17));
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(18)); //INTERPRETATION
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(19)); //radianes
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(20)); //esteroradianes
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(21)); //m
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(22)); //kg
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(23)); //segundos
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(24)); //amperes
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(25)); //kelvins
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(26)); //moles
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(27)); //candelas
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(28)); //extension
unidades de

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(29)); //LOWLIMIT
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(30)); */

```

```

    FPRINTF(PC, "%1.2F\r", READ_FLOAT_EEPROM(31));
FOR(p=35;p<37;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //HILIMIT
    //FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(36));
}
    FPRINTF(PC, "%1.2F\r", READ_FLOAT_EEPROM(37));
FOR(p=41;p<43;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //OERROR
    //FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(42));
}
    FPRINTF(PC, "%1.2F\r", READ_FLOAT_EEPROM(43));
FOR(p=47;p<60;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //SELFTEST
}/*
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(48));
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(49));

    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(50)); //SAMPLE
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(51));

    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(52)); //DATA MODEL
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(53));
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(54));
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(55)); //DATA MODEL LENGTH
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(56));

```

```

    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(57));

    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(58)); //MODEL
SIGNIFICANTS BITS

    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(59)); */

    FPRINTF(PC, "%LU\r", READ_INT16_EEPROM(60));

FOR(p=62;p<64;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //UPDATET
    //FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(63));
}restart_wdt();

    FPRINTF(PC, "%1.2E\r", READ_FLOAT_EEPROM(64));
FOR(p=68;p<70;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //RSETUPT
    //FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(69));
}

    FPRINTF(PC, "%1.2E\r", READ_FLOAT_EEPROM(70));
FOR(p=74;p<76;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //SPERIOD
    //FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(75));
}

    FPRINTF(PC, "%1.2E\r", READ_FLOAT_EEPROM(76));
FOR(p=80;p<82;p++)
{

```



```

    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //WARMUPT
    //FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(81));
}restart_wdt();

    FPRINTF(PC, "%1.2F\r", READ_FLOAT_EEPROM(82));
FOR(p=86;p<88;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //RDELAYT
    //FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(87));
}

    FPRINTF(PC, "%1.2E\r", READ_FLOAT_EEPROM(88));
FOR(p=92;p<97;p++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(p)); //SAMPLING
    /*FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(93));

        FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(94)); //MODE
        FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(95));
        FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(96)); */
}

    FPRINTF(PC, "%LU\r", READ_INT32_EEPROM(97)); //CHECKSUM!!!
CALCULAR

    DELAY_US(100);

    output_low(PIN_C5);

    restart_wdt();

} //END FUNCION lectura_sensor_teds

//DEFINICIÓN de función que lee el nombre del sensor de la
eeprom USER'S CHANNEL NAME TEDS.

```

```

void lectura_nombre_sensor_teds (void)
{
int i;
char tcname[10];

UNSIGNED INT16 LENGTH = 0x1C; //24BYTES DE TEDS + 4 BYTES DE
OFFSET = 28 BYTES

UNSIGNED INT32 TEDSOffset =0; //

RESTART_WDT();

for(i=0;i<10;i++) //leemos tcname de la eeprom
{
    tcname[i]=read_eeprom(114+i);
}

output_high(PIN_C5);

PRINTF( "%X%LX%LX", exito_comando, LENGTH, TEDSOffset);

    FPRINTF(PC, "%LU\r", READ_INT32_EEPROM(99)); //LENGTH
FOR (i=103;i<114;i++)
{
    FPRINTF(PC, "%U\r", READ_EEPROM(i)); //TEDSID
/*    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(104));
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(105));
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(106));
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(107));
    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(108));

    FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(109)); //FORMAT

```

```

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(110));
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(111));

FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(112)); //TCNAME
FPRINTF(PC, "%U\r\n", READ_EEPROM(113));*/
}

FPRINTF(PC, "%s\r", tcname);

FPRINTF(PC, "%LU\r", READ_INT16_EEPROM(124));
DELAY_US(100);
output_low(PIN_C5);
}

void addcbuff(char c){ // Añade CHARACTER a CADENA_COMANDO
RESTART_WDT();
    switch(c){
        case 0x2E: //2E (punto ascii) ->
Habilita Flag para procesar comando
            flagcommand=1;
            break;
        default:
            CADENA_COMANDO[INDICE++]=c; // Añade caracter
recibido a la CADENA_COMANDO
    }
}

```

```

// Procesador de Comandos
////////////////////////////////////
void procesa_comando(void){

    int i;

    UNSIGNED INT CMD = 255;

    RESTART_WDT();

    flagcommand=0;           // Desactivo flag de comando
pendiente.

/*****                    DECODIFICACIÓN            DE            COMANDOS
*****/

//ID DEL SENSOR IGUAL A 1 CHECKEADA EN EL MAIN
IF(CADENA_COMANDO[5]=='3'&&CADENA_COMANDO[6]=='0'&&CADENA_COMA
NDO[7]=='1'&&BIT_TEST(ESTADO.8)==1){ //checkeamos clase,
función,...

        CMD =128;//LEER HUMEDAD

        inicbuff();

    }

IF(CADENA_COMANDO[5]=='1'&&CADENA_COMANDO[6]=='0'&&CADENA_COMA
NDO[7]=='9'&&BIT_TEST(ESTADO.8)==1){

        CMD=130;//COMANDO LEER REGISTRO DE ESTADO

        inicbuff();

    }

IF(CADENA_COMANDO[5]=='7'&&CADENA_COMANDO[8]=='8'&&CADENA_COMA
NDO[9]=='0'&&CADENA_COMANDO[11]=='1'&&BIT_TEST(ESTADO.8)==1){

        CMD=144;//COMANDO BLOQUEO

        inicbuff();

    }
}

```

```

IF(CADENA_COMANDO[5]=='7'&&CADENA_COMANDO[8]=='8'&&CADENA_COMA
NDO[9]=='0'&&CADENA_COMANDO[11]=='0'&&BIT_TEST(ESTADO.8)==0){
    CMD=145;//COMANDO DESBLOQUEO
    inicbuff();
}

```

```

IF(CADENA_COMANDO[5]=='7'&&CADENA_COMANDO[6]=='0'&&CADENA_COMA
NDO[7]=='1'&&BIT_TEST(ESTADO.8)==1){
    CMD=159;//COMANDO REINICIO (RESET)
    inicbuff();
}

```

```

IF(CADENA_COMANDO[5]=='1'&&CADENA_COMANDO[6]=='0'&&CADENA_COMA
NDO[7]=='2'&&CADENA_COMANDO[12]=='0'&&CADENA_COMANDO[13]=='3'
&&BIT_TEST(ESTADO.8)==1){
    CMD=160;//LEER TRANSDUCER CHANNEL TEDS
    inicbuff();
}

```

```

IF(CADENA_COMANDO[5]=='1'&&CADENA_COMANDO[6]=='0'&&CADENA_COMA
NDO[7]=='2'&&CADENA_COMANDO[12]=='0'&&CADENA_COMANDO[13]=='C'
&&BIT_TEST(ESTADO.8)==1){
    CMD=161;//LEER TEDS NOMBRE SENSOR
    inicbuff();
}

```

```
//SELECCIÓN DEL COMANDO
```

```
SWITCH (CMD)
```

```

{
CASE 128:      //LEER HUMEDAD
{
    exito_comando=1;

    //REGISTRO ESTADO RECONOCIMIENTO DE DISPARO BIT #1
    ESTADO = 0b0001000100000010;

    //ENVIAMOS LA HUMEDAD PROMEDIO DE LAS 10 LECTURAS
    output_high(PIN_C5);

    mensaje_respuesta_ieee1451(HUMEDAD_HOJA);

    //PRINTF("%F",HUMEDAD_HOJA);

    output_low(PIN_C5);

    CMD=0;

    BREAK;
}

CASE 130:      //ENVIAR REGISTRO DE ESTADO DEL SENSOR
{
    exito_comando=1;

    output_high(PIN_C5);

    PRINTF("%LU",ESTADO);

    output_low(PIN_C5);

    CMD=0;

    BREAK;
}

CASE 144:      //SENSOR NO OPERATIVO
{
    exito_comando=1;

```

```

        ESTADO = 0b0000000000000000; //CANAL BLOQUEADO (NO
OPERATIVO)

        CMD=0;

        BREAK;

    }

CASE 145:    //SENSOR OPERATIVO

    {

        exito_comando=1;

        ESTADO = 0b0000000100000000; //CANAL DESBLOQUEADO

        CMD=0;

        BREAK;

    }

CASE 159:    //REINICIO DEL SENSOR

    {

        exito_comando=1;

        ESTADO = 0b0000000100000100;

        //DESBORDE DEL WDT A LOS 2,3 SEGUNDOS

        //REGISTRO DE ESTADO OCURRIO UN RESET BIT #2

        CMD=0;

        FOR(;;){} //CICLO INFINITO, ACTUA EL WDT :)

        BREAK;

    }

CASE 160:    //LEER TEDS DEL SENSOR

    {

        exito_comando=1;

        lectura_sensor_teds();

        CMD=0;

```

```

        BREAK;
    }
CASE 161:    //LEER TEDS NOMBRE DEL SENSOR VER!!
{
    exito_comando=1;
    lectura_nombre_sensor_teds();
    CMD=0;
    BREAK;
}
DEFAULT:    //SI NO ES NINGUNO DE LOS COMANDOS
ANTERIORES, DEVUELVE "COMANDO INVALIDO"
{
    output_high(PIN_C5);
    fprintf(pc, " \r\n COMANDO INVALIDO\r\n");
    output_low(PIN_C5);
    CMD=0;
    BREAK;
}
} //END SWITCH
inicbuff(); // Borro buffer.
RESTART_WDT();
} //END FUNCION procesa_comando()

```

```

void inicbuff(void){ // Inicia a \0 cbuff
(LIMPIA EL BUFFER)

```

```

    int i;

```

```

    for(i=0;i<lenbuff;i++){ // Bucle que pone a 0 todos los

```



```

        CADENA_COMANDO[i]=0x00; // caracteres en el buffer
CADENA_COMANDO
    }

    INDICE=0x00; // Inicializo el Índice
}

void mensaje_respuesta_ieee1451 (float ReadSensorData)
{
    //mensaje de respuesta según estándar ieee 1451.
    unsigned int8 flag_exito_falla;
    unsigned int16 largo;
    unsigned int32 ReadSensorOffset=0;
    unsigned int8 checksum_r;
    if (exito_comando)
    {
        flag_exito_falla=1;

        largo=9;

        //checksum en complemento a uno
        checksum_r=0xFF-
        ((int8*)flag_exito_falla+(int8*)largo+(int8*)ReadSensorOffset+
        (int8*)ReadSensorData);

        output_high(PIN_C5);
printf ("%X%X%X%X",flag_exito_falla,largo,ReadSensorOffset
,ReadSensorData,checksum_r);

        //printf ("%X",checksum_r);

        output_low(PIN_C5);

        exito_comando=0;
    }
}

```

```

    }
}

void mensaje_inicio_ieee1451 (void)
{
    INT i;

    UNSIGNED INT16 STCN=0x0001; //cambiado a 01, antes ff

    UNSIGNED INT8 cmdClassID=7; //COMANDO DE CUALQUIER ESTADO
DEL TIM

    UNSIGNED INT8 cmdFunctionID=1; //RESET

    UNSIGNED INT16 LENGTH=0x000A; //10

    CHAR MENSAJE[];

    for(i=0;i<10;i++) //leemos tcname de la eeprom
    {
        MENSAJE[i]=read_eeprom(114+i);
    }

    output_high(PIN_C5);

    PRINTF ("%LU%U%U%LU%S\r\n",STCN,cmdClassID,cmdFunctionID,LENGTH
,MENSAJE);

    output_low(PIN_C5);
}

```



Lucas Matías Arjona