

2013

Sistema de control de riego automático mediante el monitoreo de humedad del suelo vía internet.

María del Rosario Camargo García

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Sistema de control de riego automático mediante el monitoreo de humedad del suelo vía internet

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero en Automatización con línea terminal en Instrumentación y Control de Procesos

Presenta

María del Rosario Camargo García

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio 2013
México



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

**SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO AUTOMÁTICO MEDIANTE EL
MONITOREO DE HUMEDAD DEL SUELO VÍA INTERNET**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero en Automatización
con línea terminar en Instrumentación y Control de Procesos

Presenta:

María del Rosario Camargo García

Dirigido por:

Dr. José Gabriel Ríos Moreno

SINODALES

Dr. José Gabriel Ríos Moreno

Presidente

Firma

Dr. Mario Trejo Perea

Secretario

Firma

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

Vocal

Firma

Dr. Alejandro Castañeda Miranda

Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio 2013
México

RESUMEN

En esta tesis, se ha desarrollado un sistema de control de riego automático mediante el monitoreo de humedad del suelo vía internet (SRAMHI). El primer objetivo de la irrigación es suplir la humedad necesaria y poder realizarlo de distintas maneras; sin embargo sin importar el método de riego utilizado, el propósito de la irrigación es poder reponer periódicamente el almacenamiento de la humedad del suelo en la zona radicular de la planta. La irrigación es un medio artificial usado para agregar humedad al suelo para prevenir deficiencias de humedad, un mal uso de irrigación creara problemas de exceso o decremento de humedad. Entre las principales dificultades para la tecnificación del riego sobresalen: los altos costos de acondicionamiento de la infraestructura de riego; la baja eficiencia de conducción y distribución debido a problemas de filtración, la alta escorrentía superficial, el uso inapropiado de los canales y excesiva parcelación de las tierras agrícolas; la baja eficiencia de la aplicación del agua, por desconocimiento de los métodos de riego eficientes y del requerimiento de agua por cultivo; la débil organización comunal y la poca participación de los usuarios. Este proyecto tiene como principal objetivo el desarrollo de un sistema de riego automático para satisfacer las necesidades de riego de manera inteligente, con un impacto en el ahorro de agua a través del control y monitoreo de la variable humedad del suelo para generar ahorros de hasta un 50% en el consumo total, en cuanto al sistema de riego se refiere. Este trabajo muestra el desarrolló y comparación de dos sistemas de control: manual y automático por medio del ajuste y calibración adecuados en la programación del sistema de riego. Para este sistema se desarrollo una interfaz grafica la cual esta monitoreando el consumo de agua prácticamente en tiempo real, en esta se muestran los datos de consumo, con la misma interfaz se pueden hacer modificaciones en línea como por ejemplo cambio de valores de humedad de suelo. Un punto importante es que el sistema está diseñado en base a un servidor web contenido en una tarjeta Arduino. El sistema por ser programable en miles de formas, se convierte en un sistema muy versátil y flexible.

Palabras claves: Sistema, Riego, Agua, Control, Monitoreo, Ahorro, Sustentabilidad, Tecnificación, Programación, Tarjeta Programable.

SUMMARY

In this thesis, we have developed a system of automatic irrigation control by monitoring soil moisture via the Internet (SRAMHI). The first objective of irrigation is to supply the necessary moisture and to do it in different ways, but regardless of the irrigation method used, the purpose of irrigation is to periodically replenish the storage of soil moisture in the root zone of the plant. Irrigation is an artificial means used to add moisture to the soil to prevent moisture deficiency, irrigation misuse problems created or decrease excess moisture. Among the main difficulties in irrigation technology stand out: the high cost of upgrading the irrigation infrastructure, the low efficiency of transmission and distribution due to filtration problems, high surface runoff, improper use of the channels and excessive fragmentation of agricultural land, the low efficiency of water application, for lack of efficient irrigation methods and crop water requirement, the weak community organization and the low participation of users. This project's main objective is the development of an automatic irrigation system to meet irrigation needs intelligently, with an impact on water savings through control and monitoring of variable soil moisture to generate savings of up to 50% of total consumption, as the irrigation system is concerned. This paper shows the developed and comparison of two control systems: manual and automatic through appropriate calibration adjustment and programming of the irrigation system. For this system, we developed a graphical interface which is monitoring water consumption virtually in real time, this shows the consumption data, with the same interface can be made online modifications such as changing soil moisture values . An important point is that the system is designed based on a web server on a card Arduino content. The system being programmable in myriad ways, it becomes a versatile and flexible system.

Keywords: System, Irrigation, Water, Control, Monitoring, Savings, Sustainability, Modernization, Programming, Programmable card.

A MI FAMILIA POR SU AMOR INCONDICIONAL.

ÍNDICE

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIAS	iii
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Panorama general del agua	1
1.1.2. El agua en México	3
1.1.3. El agua en Querétaro	5
1.2. Estado del Arte	7
1.3. Hipótesis	9
1.4. Objetivos Generales	9
1.4.1. Objetivos Específicos	9
1.5. Justificación	9
2. Consideraciones Teóricas	11
2.1. Modelo de referencia OSI	11
2.2. Ethernet	12
2.1. 10 Base 5	13
2.1. 10 Base 2	14
2.2.3. 10 Base T	15
2.3. Estructura de una trama Ethernet	15
2.3.1. Ethernet y el modelo OSI	17
2.4. Direccionamiento IP	18
2.5. Protocolo TCP/IP	19
2.5.1. Arquitectura TCP/IP	20
2.6. Microcontrolador	21
2.7. Microprocesador	22
2.8. Sistema de Riego	23
2.8.1. Humedad de suelo	24
2.8.2. Insumos de la Irrigación	25
2.8.3. Criterios para seleccionar los métodos de riego	25
2.8.4. Suministro del agua	25
2.8.5. Programación de los riegos	26
2.9. Desarrollo del Modelo del sensor para humedad de tierra.	26
2.9.1. Modelo del sensor de suelo	26
2.9.2. Sistema de control para aplicación de la señal del sensor de humedad de suelo utilizando INA128	28
2.9.3. Tarjeta Arduino	31
3. Implementación y desarrollo	32

3.1. Primer estrategia: control y monitoreo de humedad del suelo para un sistema de riego a través de un PLC	32
3.1.1. PLC (Programmable Logic Controller)	35
3.1.2. Determinación de valores máximos y mínimos de humedad	36
3.2. 2da Estrategia: control y monitoreo de humedad del suelo para un sistema de riego a través de una tarjeta Rabbit RCM6700	39
3.2.1. Descripción de la zona de interés	39
3.2.2. Estructura de los techos verdes	41
3.2.3. Procesamiento de datos y caracterización de humedad	43
3.2.4. Desarrollo del sistema de monitoreo	45
3.2.5. Implementación del circuito del acondicionamiento de la señal	46
3.2.6. Habilitación de puertos	49
3.2.7. Habilitación del servidor Web	50
3.2.8. Selección de canal	50
3.2.9 Adquisición de la señal.....	51
3.2.10 Humedad y temperatura con Arduino.....	51
4. Resultados y Conclusiones	54
4.1. Resultados.....	54
4.2. Conclusiones.....	58
5. Referencias.....	59
6. Anexos	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1.	Distribución global del uso de agua en el mundo	2
1.2.	Estadísticas del agua en México, 2010	4
1.3.	Estadísticas del agua en Querétaro, 2010	6
2.1.	Red Ethernet 10 Base 5	13
2.2.	Red Ethernet 10 Base 2	14
2.3.	Red Ethernet 10 Base T	15
2.4.	Comparación de tramas IEEE 802.3 y Ethernet	16
2.5.	Ethernet y las capas del modelo OSI	17
2.6.	Formatos de las distancias clases de direcciones IP	19
2.7.	Arquitectura TCP/IP	20
2.8.	Esquema de bloques de un microcontrolador	21
2.9.	Mecánica Básica del ordenador	23
2.10.	Grafica representativa del sistema de control con INA128	28
2.11.	Placa electrónica Arduino Mega2560	31
3.1.	Medidor de flujo de agua marca Arad, modelo M	32
3.2.	Medidor de flujo instalado en toma de agua para riego manual	33
3.3.	Propuesta de diseño para monitoreo del consumo de agua en edificio H de posgrado	34
3.4.	Controlador MicroLogix 1500, conectado a una fuente dual	36
3.5.	Representación visual de un suelo con humedad mínima (A) y máxima (B)	37
3.6.	Conexión inalámbrica del sistema de riego con el PLC, utilizando modulo Ethernet	38
3.7.	Edificio G, donde se implementara el sistema de riego	39
3.8.	Diseño esquemático del edificio G (posición relativa de los salones, puertas, ventanas, proyección y dimensiones generales)	39
3.9.	Localización y distribución de la carga eléctrica del edificio (dimensiones en metros)	40
3.10.	Control transversal del techo con loseta DEPFI-UAQ	41
3.11.	Tarjeta Rabbit RCM6700	43
3.12.	Sensor de humedad del suelo EA-10, 4-20 mA	44
3.13.	Grafica de linealidad del Rabbit RCM6700, para la comparación de rapidez y estabilidad de la tarjeta	44
3.14.	Circuito de acondicionamiento de la señal	45
3.15.	Prototipo circuito de acondicionamiento de la señal	46
3.16.	Circuito trifásico de protección contra cortocircuito	47
3.17.	Hoja de datos del sensor RHT03	50
3.18.	Diagrama de conexión para el sensor RHT03	50
3.19.	Tarjeta TinkeKit	51
4.1.	Caracterización de la Humedad mínima para el sensor de humedad .	52
4.2.	Caracterización de la Humedad maxima para el sensor de humedad .	52
4.3.	Consumo de agua de forma manual	54
4.4.	Conexión de modulo Ethernet	54
4.5.	Tarjeta Arduino con celda solar como alimentación sustentable.	55
4.6.	Sensor de humedad y temperatura	55

4.7. Pruebas con el sensor 2da etapa, acondicionada de 0-100% de humedad

56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
2.1.	Valores aproximados de humedad aprovechable (HA) para algunas clasificaciones de textura de suelos	24
3.1.	Caracterizticas de la tarjeta Rabbit RCM6700	42
4.1.	Cantidades de agua para riego	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

De acuerdo con el Consejo de Agua Mundial (World Water Council), existen seis grandes problemas relacionados con el agua: la escasez, la falta de acceso, el decremento en su calidad, la falta de conciencia por parte de autoridades y del público, la disminución en la asignación de recursos financieros y la fragmentación en su administración (Becerra et al., 2006).

La problemática de la gestión del agua en México comprende tres factores: la distribución de los recursos hídricos, la contribución a la producción nacional de cada región y la concentración demográfica (Nava, 2006); además de la sobreexplotación de los mantos acuíferos. A partir de la década de los setentas, el número de acuíferos sobreexplotados se ha ido incrementando: 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003 y 104 en el 2006. Sin embargo, en el año 2007 se redujo el número a 101. De estos acuíferos se extrae el 58% del agua aprovechable (Comisión Nacional del Agua, 2008).

En el aspecto económico, la perspectiva indica que el agua será el motor de desarrollo de las sociedades actuales. El Banco Mundial (BM) propone la aplicación de principios económicos con objeto de mejorar la calidad y distribución del agua, y utilizar este recurso como un vehículo para aumentar el crecimiento y reducir la pobreza (Nava, 2006).

1.1.1. Panorama general del agua

La disponibilidad actual de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1 386 millones de km^3 , de los cuales el 97.5% es agua salada y sólo el 2.5%, o 35 millones de km^3 , es agua dulce, de esta cantidad casi el 70% no está disponible para consumo humano porque se encuentra en los glaciares, en la nieve y en el hielo (Figura 1.1). Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o vuelve imposible su utilización efectiva (Comisión nacional del agua, 2011).

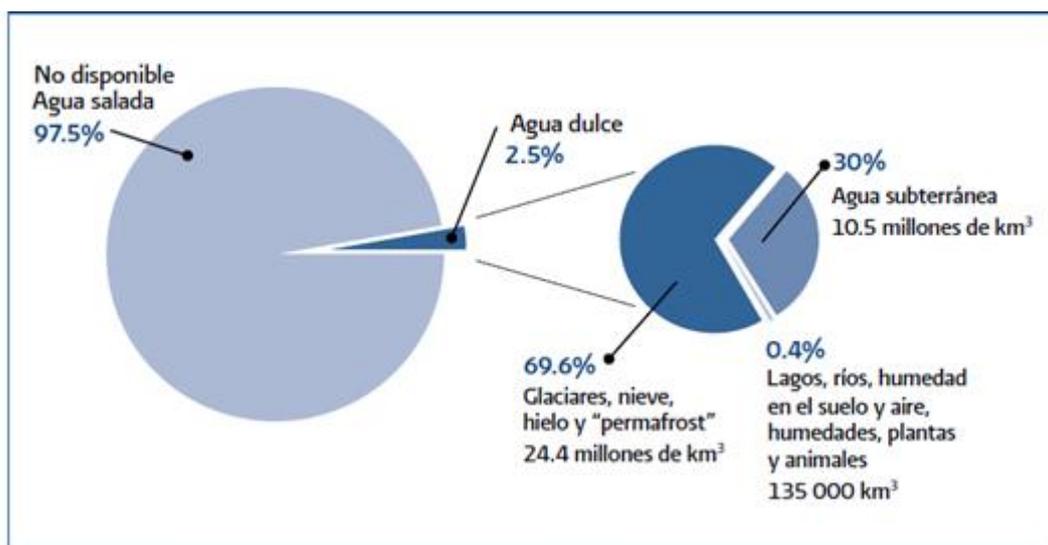


Figura 1.1. Distribución global el agua en el mundo.

Entre las principales dificultades para la tecnificación del riego sobresalen: los altos costos de acondicionamiento de la infraestructura de riego; la baja eficiencia de conducción y distribución debido a problemas de filtración, la alta escorrentía superficial, el uso inapropiado de los canales y excesiva parcelación de las tierras agrícolas; la baja eficiencia de la aplicación del agua, por desconocimiento de los métodos de riego eficientes y del requerimiento de agua por cultivo; la débil organización comunal y la poca participación de los usuarios (Programa Nacional Hídrico, 2007-2012).

Según La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization, FAO) a partir de 1950 se ha triplicado el consumo del agua en todo el mundo. Actualmente, la cuarta parte de los países del mundo tiene insuficiencia de agua tanto en cantidad como en calidad, con lo cual no cabe duda que un uso más intensivo e inapropiado del recurso aumentara los riesgos para la población y supone una grave rémora para la producción alimentaria, para el desarrollo económico y para la protección de los ecosistemas (Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, 2000).

1.1.2. El agua en México

A través del tiempo se han desarrollado una gran cantidad de sistemas para la determinación, control y automatización del riego que permiten un consumo de agua más racional, sin embargo, hasta ahora ninguno de estos sistemas ha encontrado en la práctica una aceptación considerable. Las razones principalmente se deben a la alta demanda de tiempo, trabajo y capacitación para operar y alimentar de datos e información estos sistemas (Águila, 2003).

Para el siglo XXI, de acuerdo con el Consejo de Agua Mundial (World Water Council), existirán seis grandes problemas relacionados con el agua (Becerra et al., 2006):

1. Escasez,
2. Falta de acceso,
3. Decremento en su calidad,
4. Toma de conciencia por parte de autoridades y del público
5. Disminución en la asignación de recursos financieros
6. Fragmentación en su administración

Anualmente, México recibe alrededor de 1 489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación, 73.2% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, 22.1% escurre por los ríos y arroyos, y 4.7% se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos (Estadísticas del Agua en México, Edición 2010).

En México el sector que más consume agua es el agrícola, uso que se refiere principalmente al riego de cultivos a cielo abierto. La actividad agrícola consume el 77% del total, el resto está distribuido de la siguiente manera: 14% para abastecimiento público, 5% en termoeléctricas y 4% en industria autoabastecida, Figura 1.2 (Comisión Nacional del Agua, 2010).

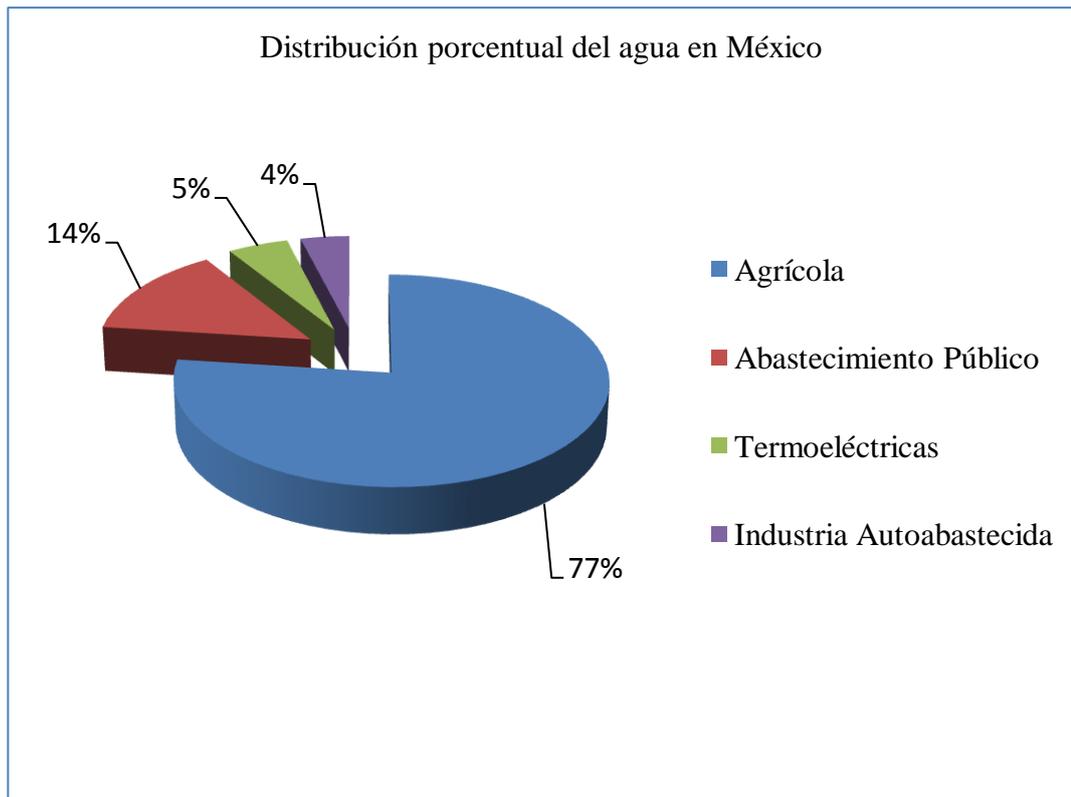


Figura 1.2. Estadísticas del agua en México, 2010.

Las pérdidas en la actividad de riego son muy altas, las cuales se dan principalmente en los procesos de extracción, existiendo hasta un 35% de desperdicio por evaporación o por humedad en la conducción. Los problemas de financiamiento para la rehabilitación, mantenimiento y operación de infraestructura requerida en los distritos de riego que permitieran modernizar los sistemas de riego contribuyen al desperdicio de agua (Becerra et al., 2006).

Se estima que para el año 2050 un 70% de la población residirá en ciudades (United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), 2009). En este contexto, se plantea como un gran reto la aplicación de principios de sostenibilidad a las áreas urbanas. El éxito de esto dependerá particularmente de la relación entre forma urbana y consumo de recursos ambientales.

Resulta necesario y casi urgente implementar sistemas de riego más eficientes, capaces de optimizar el uso de los recursos ambientales como el suelo, el agua y la energía. Además, el cambio climático ha hecho necesaria la planificación de los

recursos hídricos, obligando a la adopción de políticas de ahorro, reutilización y a la promoción de ayudas e incentivos para el empleo y buen uso de las tecnologías más avanzadas del riego (López, 2000).

1.1.3. El agua en Querétaro

El crecimiento de la población en la ciudad de Querétaro y zona conurbada en la última década ha sido tan acelerado que derivado de este fuerte crecimiento poblacional, se hace necesario crear nuevos espacios para la construcción de viviendas. Estos nuevos desarrollos habitacionales requieren de los servicios básicos como agua potable, drenaje sanitario, luz, línea telefónica, etc., para dar cabida a las nuevas necesidades del crecimiento poblacional de la ciudad de Querétaro (CEA, 2010).

En el estado de Querétaro la extensión territorial dedicada a las actividades agrícolas se encuentra subdividida en cuatro Distritos de Desarrollo Rural, que corresponden a cada una de las regiones que las dependencias del ramo han delimitado de acuerdo a la similitud de características de los municipios y que es necesaria para la correcta planeación e impulso del sector:

- *Región Jalpan*, comprende dos áreas, montañosa con actividad forestal y trópico seco con actividad agropecuaria de mediano potencial productivo.
- *Región Cadereyta*, tiene un bajo potencial productivo en temporal y en riego, destaca una agricultura desarrollada particularmente en el municipio de Colón.
- *Región San Juan del Río*, es la más productiva y en general cuenta con mejor infraestructura de apoyo: carreteras, presas, maquinaria, organizaciones de productores y centros de consumo y comercialización.
- *Región Querétaro*, tiene un bajo potencial productivo en temporal y en riego un nivel intermedio avanzado.

En Querétaro el sector que más consume agua, al igual que muchos otros estados de la República Mexicana, es el agrícola. La actividad agrícola consume el 64.6% del total, el resto está distribuido de la siguiente manera: 28.7% para abastecimiento público, 0.6% en termoeléctricas y 6.1% en industria autoabastecida, Figura 1.3 (Comisión Nacional del Agua, 2010).

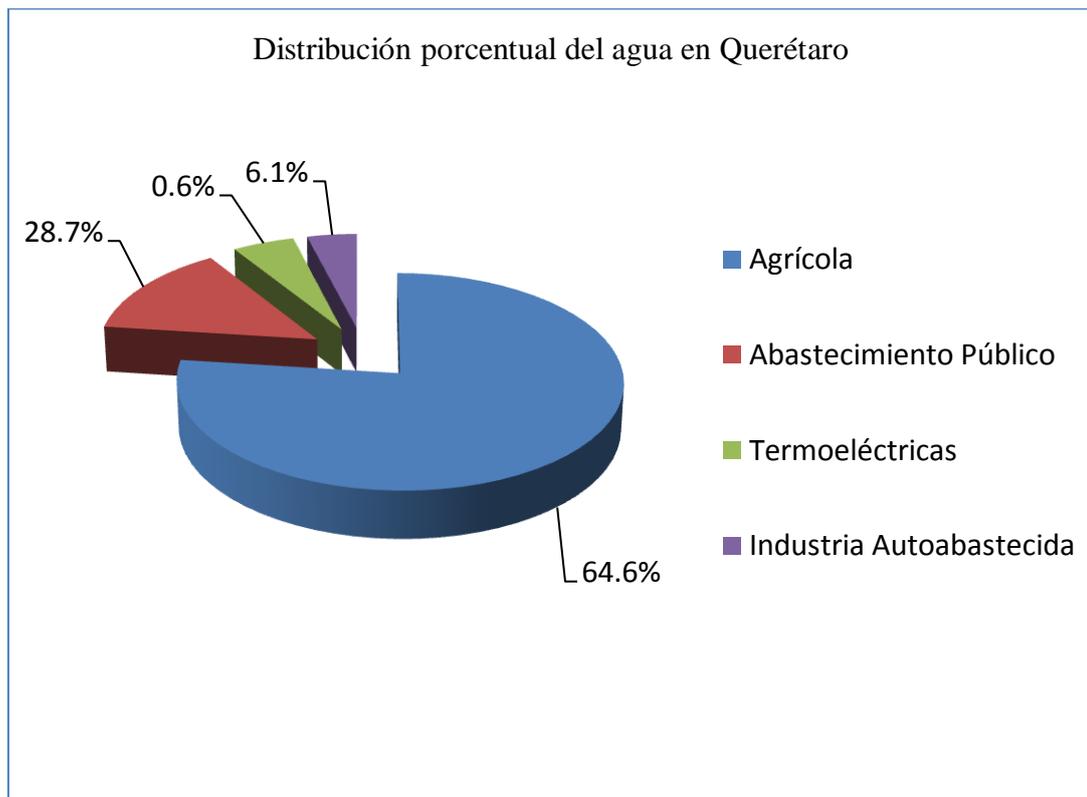


Figura 1.3. Estadísticas del agua en Querétaro en el 2010.

El mayor consumo de agua en zonas de residenciales de baja densidad se debe principalmente a los usos en exteriores, en particular al riego de jardines (Domene et al., 2003). Además, desde hace tiempo se han venido reconociendo los beneficios de las áreas verdes en los espacios urbanos para la protección del medio ambiente, el esparcimiento y la producción.

Por lo anterior, es necesario implementar sistemas de riego más eficientes, capaces de optimizar el uso de los recursos ambientales como el suelo, el agua y la energía. Además, el cambio climático ha hecho necesaria la planificación de los recursos hídricos, obligando a la adopción de políticas de ahorro, reutilización y a la promoción de ayudas e incentivos para el empleo y buen uso de las tecnologías más avanzadas del riego (López, 2000).

1.2. Estado del Arte

Schugurensky y Capraro, en el 2008, diseñaron y desarrollaron un programa computacional que permite efectuar el monitoreo continuo de la humedad en el suelo agrícola y el control de un sistema de riego por goteo empleado para irrigar un olivar. Dicho programa se realizó en el entorno de desarrollo visual LabView, el cual realizó la medición de humedad del suelo desde varios sensores (tipo capacitivo) alojados en la zona radicular del cultivo y, abriendo y cerrando las válvulas de riego, aplicando las dosis necesarias de agua para mantener la humedad dentro de los niveles fijados.

En ese mismo año (2008), Capraro et al, presentaron la aplicación en campo de un controlador automático de riego, como un nuevo enfoque para aumentar el ahorro de agua empleada para el riego agrícola. El sistema de control diseñado opera a malla cerrada y determina las dosis y periodos de riego en línea.

Castro et al, en 2008, desarrollaron un sistema de riego automatizado en tiempo real para determinar el momento oportuno y cantidad de riego, monitoreado por medio de tecnologías de información (TI). El sistema se compone de un programa de cómputo y un dispositivo de control (datalogger CR10X Campbell Scientific). El sistema considera tres estrategias de riego las cuales fueron probadas. En la primera estrategia de riego se utilizó un lisímetro de pesada, en la segunda el contenido volumétrico del agua en el suelo fue medido con un sensor TRIME TDR y para la tercera se usó el método del balance hídrico climático con base en la evapotranspiración de referencia (ET_o) (Penman–Monteith). Se evaluó el funcionamiento general del sistema de riego y se monitoreó a través de internet y dispositivos móviles por medio de una computadora central configurada como servidor (Web y WAP). Se calculó el rendimiento del cultivo de prueba calabaza 'zucchini grey' (*cucurbita* spp.), el consumo de agua de cada estrategia de riego y productividad de agua. Los resultados obtenidos mostraron que es posible automatizar y controlar la aplicación del agua de acuerdo a las estrategias de riego considerando un programa de riego, una unidad de control y usando tecnologías de información.

En el 2012, Gutiérrez et al, presentaron un sistema de riego automatizado basado en sensores de humedad y temperatura del suelo. El sistema tiene un uso

potencial en áreas geográficamente aisladas (fuera de la red de energía eléctrica), debido a su autonomía energética y bajo costo. El sistema de riego automatizado permite optimizar el uso del agua en cultivos a través de sensores que miden la humedad y la temperatura en la zona radicular de las plantas. El sistema de riego automatizado consiste de una red de unidades de sensores inalámbricos (USI), una unidad remota de información (URI) y un panel de control (PC), los cuales están enlazados por radio módems que permiten la transferencia de datos. El sistema opera utilizando energía solar, con el que se recarga una batería de ciclo profundo, que se usa para energizar la unidad remota y una bomba de corriente directa para regar el cultivo. Los sensores inalámbricos también operan con un panel solar utilizado para recargar baterías, por lo que el sistema puede utilizarse en zonas donde no haya electrificación. El sistema cuenta con un enlace GPRS-Internet que permite comunicarse con una aplicación WEB en la que se registra el archivo histórico de temperaturas, humedades y riegos del cultivo. También es posible modificar los umbrales de temperatura y humedad desde la página de Internet. El sistema también permite la programación de riegos calendarizados con la duración deseada.

1.3. Hipótesis

Al desarrollar un sistema de control de riego inteligente se pueden generar ahorros de hasta un 50% en el consumo de agua en cuanto al sistema de riego se refiere.

1.4. Objetivos

Este trabajo pretende desarrollar un sistema de control de riego automático para satisfacer las necesidades de riego de manera inteligente, con un impacto en el ahorro de agua a través del control y monitoreo de la variable de humedad del suelo.

1.4.1. Objetivos específicos

Evaluar las variaciones de humedad que suceden en el suelo y lograr el ajuste y calibración adecuados en la programación del riego.

Analizar y comparar estrategias de control para determinar los valores mínimos y máximos de humedad del suelo.

1.5. Justificación

Debido a que en la actividad agrícola es donde se presenta un mayor derroche de agua, es necesario reducir su consumo con el objetivo de superar las limitaciones debido a la falta de este recurso. En este sentido, el monitoreo de la humedad en el suelo y la eficiente programación del riego son acciones que deben ponerse en práctica con la idea de abordar esta problemática y brindar una solución tecnológica (Schugurensky y Capraro, 2008).

En los últimos años se han desarrollado sistemas para la determinación, automatización y control del riego que reducen el consumo de agua. Sin embargo, hasta ahora han sido pocos los sistemas que han encontrado en la práctica una aceptación considerable. Esto se debe principalmente a la alta demanda de tiempo, trabajo y capacitación para operar y alimentar de datos e información estos sistemas; además, no se tiene el suficiente conocimiento sobre los resultados que estos sistemas tienen sobre

el consumo de agua y los rendimientos de los cultivos o plantas, así como los elevados costos de la tecnificación de los sistemas para el control de riego (Águila et al., 2006).

En la actualidad se está prestando mayor atención a la medición del contenido de agua en el suelo, con el objetivo de evaluar los cambios de humedad y conseguir un ajuste adecuado en la programación de riego (Capraro, 2008). Por tal motivo, el sistema de riego a implementar toma en cuenta los recursos hídricos que son medidos a intervalos frecuentes, pero el agua sólo será aplicada cuando el controlador lo indique, con base a la medición entregada por el sensor de humedad, tomando en cuenta que la cantidad de agua se aplicará según las necesidades de las plantas. La dosis máxima de agua en algún momento puede llegar a ser mucho mayor que con el riego convencional, pero el monto total de agua suministrada durante un intervalo será mucho menor.

Muchos de los sistemas de riego han utilizado para el control de riego temporizadores mecánicos o electromecánicos que determinan la puesta en marcha o paro del sistema. Con los avances en el campo de la automatización y control, el panorama ha cambiado drásticamente y aquellos sistemas más simples han evolucionado a otros mucho más complejos, basados principalmente en micro-controladores, los cuales pueden hacer posible el control total de la instalación de riego, adaptándola a factores como las condiciones ambientales o el estado de desarrollo del cultivo o planta (Tarjuelo, 2005).

Para facilitar el manejo del sistema de riego a implementar, se propone llevar a cabo el control y monitoreo de humedad de suelo vía internet. El procesamiento de datos en un sistema de monitoreo en línea por internet requiere varias características, principalmente: velocidad, versatilidad y capacidad de almacenamiento. La tarjeta Rabbit RCM 6700 cubre perfectamente las especificaciones requeridas, es ideal para aplicaciones web ya que cuenta con un puerto de ETHERNET para usar el protocolo TCP/IP, un Microprocesador (165 MHz), memoria RAM (1 MB) y FLASH (1 MB), además cuenta con puertos seriales y paralelos totalmente configurables; es totalmente programable, el entorno de programación es el Dynamic C compatible totalmente con ANSI C. Otra ventaja que presenta es que Dynamic C viene con librerías pre-cargadas para realizar varias tareas como establecer una comunicación TCP/IP, Wi-Fi, USB o implementar algoritmos matemáticos.

2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

2.1. Modelo de referencia OSI

El modelo OSI (Open Systems Interconnection) de ISO (International Standards Organization) fue una propuesta para la estandarización internacional en aplicaciones de transmisión de datos. Este modelo cuenta con siete capas diseñadas según los siguientes principios (Tanenbaum, 2003):

- Una capa se diseña en donde se requiera de un nivel de abstracción diferente.
- Cada capa debe tener una función bien definida.
- La función que realiza cada capa se debe seleccionarse tomando en cuenta la minimización del flujo de información a través de las interfaces.
- El número de capas será lo suficientemente grande como para que funciones diferentes no se encuentren en la misma capa, y lo suficientemente pequeño para que la arquitectura no sea demasiado compleja.

El modelo OSI no es una arquitectura de red ya que no especifica el protocolo que debe usarse en cada capa, sólo indica un reparto de servicios factible del cual se definen los protocolos estandarizados internacionalmente (López et al., 2007).

Este modelo se divide en siete capas:

1. Capa física. Esta capa se encarga de la transmisión y recepción de datos por medio de un medio físico.
2. Capa de enlace. La tarea principal de esta capa es proporcionar un medio de transmisión en una línea de comunicación libre de errores.
3. Capa de red. La capa de red controla las operaciones de la subred. Un punto importante de su diseño, es la manera en que se van a encaminar los paquetes del origen al destino. El encaminamiento puede basarse en unas tablas estáticas o bien determinarse dinámicamente en función del tráfico de red. También debe detectar y corregir problemas de congestión de tráfico.
4. Capa de transporte. La principal función consiste en aceptar los datos de la capa de sesión, dividirlos, si es necesario, y pasarlos a la capa de red. Además debe asegurar que todos los datos lleguen correctamente al otro extremo.

5. Capa de sesión. Esta capa permite que los usuarios de diferentes máquinas establezcan sesiones; es decir, gestiona el control de diálogo y actúa como moderador en una reunión donde varios individuos desean comunicarse.
6. Capa de presentación. La capa de presentación se ocupa de los aspectos de sintaxis y semántica de la información que transmite. Además se ocupa de la compresión y encriptación de los datos intercambiados.
7. Capa de aplicación. Es la capa más cercana al usuario. Ofrece servicios de terminal virtual, transferencia de archivos, correo electrónico, etc.

Cada una de las capas del modelo OSI ilustra una función de red particular. A esta división se denomina división en capas. La división de la red en siete capas presenta las siguientes ventajas (Agudelo et al., 2005):

- Normaliza los componentes de red para permitir el desarrollo y el soporte de los productos de diferentes fabricantes.
- Permite a los distintos tipos de hardware y software de red comunicarse entre sí.
- Impide que los cambios en una capa puedan afectar las demás capas, de manera que se puedan desarrollar con más rapidez.
- Divide la comunicación de red en partes más pequeñas para simplificar el análisis de la misma.

2.2. Ethernet

Ethernet es una de las redes LAN (Local Area Network) más empleadas y difundidas en la actualidad. Este sistema de red fue creado en conjunto por Digital Equipment Corporation, Intel y Xerox durante las décadas de los setenta y ochentas (Black, 1999; Márquez et al., 2001).

La topología lógica de Ethernet es de bus lineal con 2.5 km de longitud máxima y velocidad de transmisión de 10 Mbps sobre un cable de banda base y un máximo de 1024 estaciones de trabajo, de las cuales sólo una transmite a la vez (Herrera, 2003).

Existen tres tipos básicos de redes Ethernet:

- 10 Base 5
- 10 Base 2
- 10 Base T

Las características de estos tipos se detallan a continuación.

2.2.1. 10 Base 5

Es el estándar IEEE 802.3 que utiliza como medio de transmisión cable AUI (Interface de enlace, attachment unit interface) coaxial grueso de 0.4 pulgadas de diámetro. Cada segmento tiene una longitud máxima de 500 metros con una velocidad de propagación de $0.77 C$, donde C es la velocidad de la luz en el vacío, y soporta un máximo de 5 segmentos. La topología típica es de línea (Figura 2.1) con velocidad de 10 Mbps. Requiere de una impedancia de 50Ω aterrizada en un solo extremo de la trayectoria. Además soporta un máximo de 100 transceivers MAU (unidad de enlace al medio, médium attachment unit) en cada segmento con una distancia máxima de 50 metros de éste a la estación de trabajo y de 2.5 metros entre ellos (Herrera, 2003).

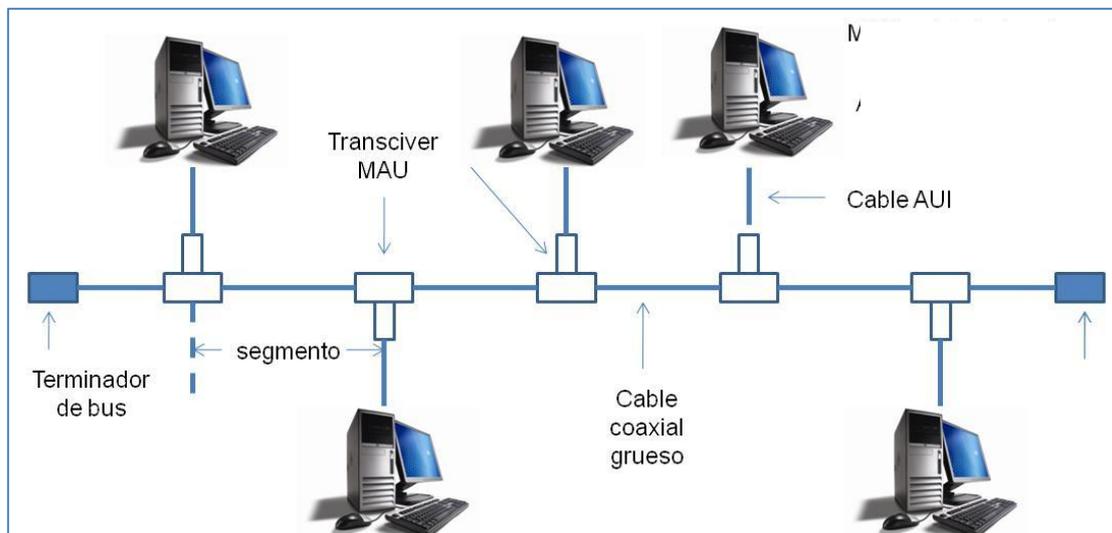


Figura 2.1. Red Ethernet 10 Base 5.

2.2.2. 10 Base 2

Este tipo (Figura 2.2) emplea como vía de transmisión cable coaxial delgado con diámetro de 0.2 pulgadas con una longitud máxima de 185 metros por segmento y un máximo de cinco segmentos con cuatro repetidores entre dos estaciones de trabajo, de los cuales tres son segmentos coaxiales y los otros dos son de enlace. Requiere de una impedancia de 50Ω en cada extremo de la trayectoria y uno de ellos aterrizado. Soporta un máximo de 30 estaciones de trabajo por segmento coaxial. La separación mínima entre transceivers es de 0.6 metros y pueden ser externos o internos. El tipo de conector a la estación de trabajo es BNC (del inglés Bayonet Neil-Concelman). Con un transceiver externo soporta una distancia máxima de éste a la estación de trabajo de 50 metros (Herrera, 2003).

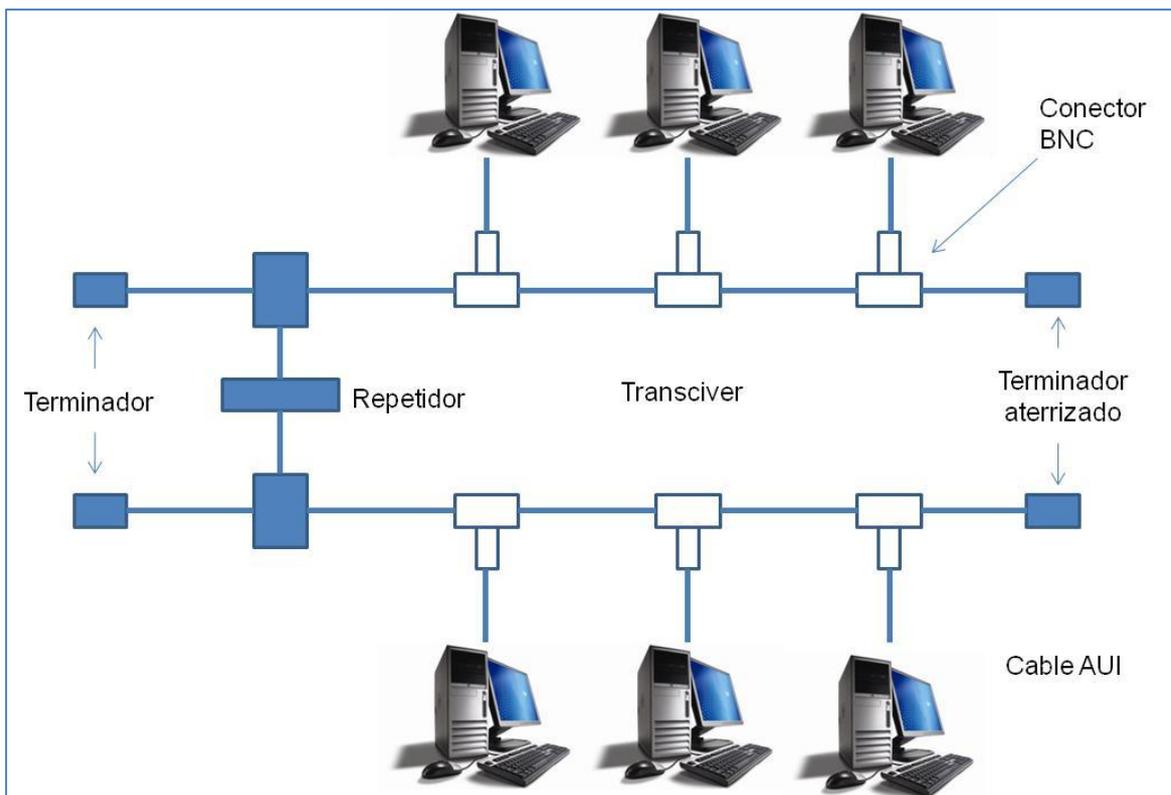


Figura 2.2. Red Ethernet 10 Base 2.

2.2.3. 10 Base T

Esta red es la más común de todas las redes LAN en el mundo. Su medio de transmisión es el par trenzado y tiene topología física de estrella con topología lógica de bus lineal (Figura 2.2). Cada estación de trabajo se conecta a un concentrador (hub) mediante dos pares de hilos con una distancia máxima de 100 metros y un máximo de 12 estaciones de trabajo conectadas al hub con un total de 1023 estaciones en la red (Figura 2.3) (Herrera, 2003).

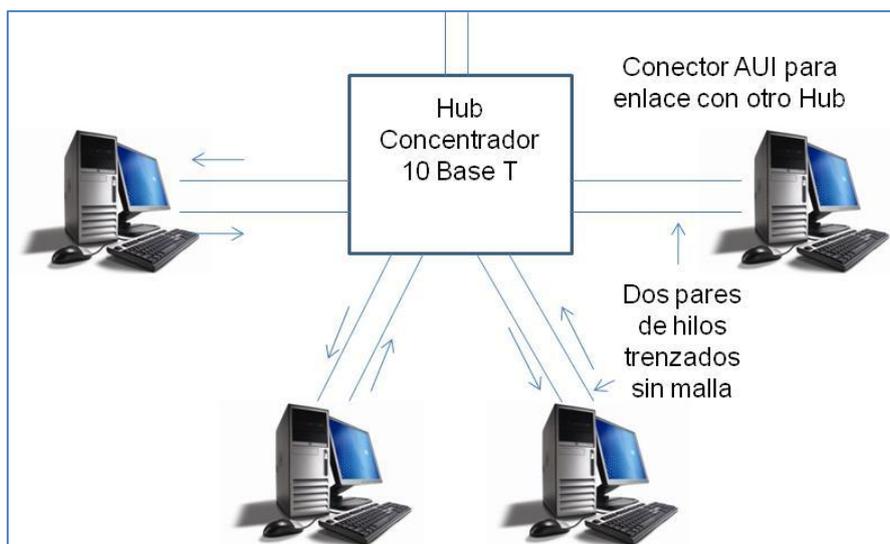


Figura 2.3. Red Ethernet 10 Base T.

2.3. Estructura de una trama Ethernet

El estándar Ethernet original definió el tamaño mínimo de trama en 64 bytes y el tamaño máximo de trama en 1518 bytes. Esto incluye todos los bytes del campo Dirección MAC de destino a través del campo Secuencia de verificación de trama (FCS). Los campos Preámbulo y Delimitador de inicio de trama no se incluyen en la descripción del tamaño de una trama. El estándar IEEE 802.3ac, publicado en 1998, amplió el tamaño de trama máximo a 1522 bytes (Figura 2.4) (Cisco Systems, 2009).

IEEE 802.3						
7	1	6	6	2	46 a 1500	4
Preámbulo	Delimitador de inicio de trama	Dirección de destino	Dirección de origen	Longitud/Tipo	Encabezado y datos 802.2	Secuencia de verificación de trama

Ethernet					
8	6	6	2	46	4
Preámbulo	Dirección de destino	Dirección de origen	Tipo	Datos	Secuencia de verificación de trama

Figura 2.4. Comparación de tramas IEEE 802.3 y Ethernet.

Si el tamaño de una trama transmitida es menor que el mínimo o mayor que el máximo, el dispositivo receptor desecha la trama. Es posible que las tramas desechadas se produzcan en colisiones u otras señales no deseadas y por ello se consideran tramas no válidas (Márquez, 2001).

Los campos mostrados en la Figura 2.4 se describen a continuación (Cisco Systems, 2009).

- **Preámbulo:** La alternancia de unos y ceros le indica a las estaciones receptoras la llegada de una trama (Ethernet o IEEE 802.3). La trama Ethernet incluye un byte adicional que es el equivalente al Delimitador de Inicio de Trama especificado en la IEEE 802.3.
- **Delimitador de Inicio de Trama:** El byte delimitador de la IEEE 802.3 termina con dos bits 1 consecutivos, que sirven para marcar el final del preámbulo y el comienzo de la trama.
- **Tipo (Ethernet):** El tipo especifica el protocolo de la capa superior para recibir los datos después de que un procesamiento Ethernet está completo.

- Longitud (IEEE802.3): Indica la longitud del campo de datos.
- Datos: Son los datos del usuario.
- Secuencia de verificación de trama: Contiene bytes de Comprobación de Redundancia Cíclica (CRC) para confirmación de errores.

2.3.1. Ethernet y el modelo OSI

Ethernet opera a través de dos capas del modelo OSI: la capa de Enlace de datos, que se conoce como subcapa Control de acceso al medio (Media Access Control, MAC), y la capa física (Figura 2.5) (Márquez et al., 2001).

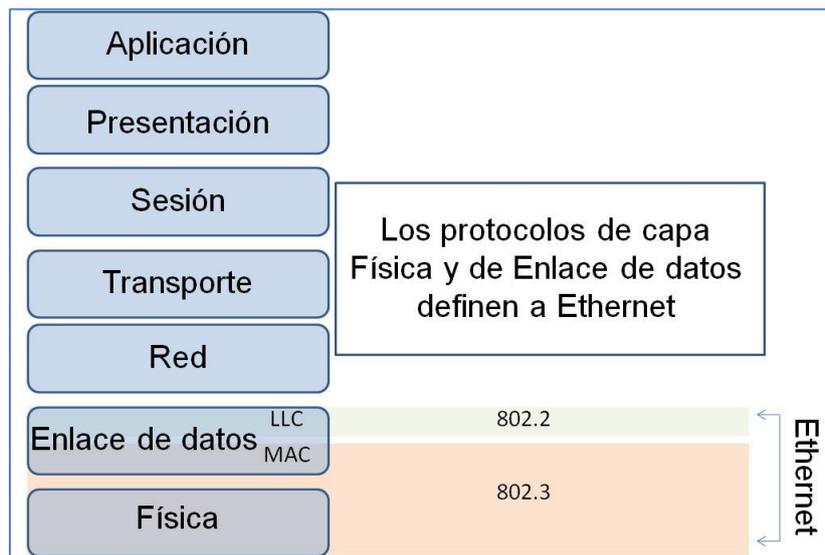


Figura 2.5. Ethernet y las capas del modelo OSI.

Ethernet en la Capa 1 implica señales, streams de bits que se transportan en los medios, dispositivos físicos que transmiten las señales a los medios y distintas topologías. La Capa Física de Ethernet tiene un papel clave en la comunicación que se produce entre los dispositivos, pero cada una de estas funciones tiene limitaciones. Ethernet en la Capa 2 se ocupa de estas limitaciones. Las subcapas de enlace de datos contribuyen significativamente a la compatibilidad de tecnología y la comunicación con la computadora. La subcapa MAC se ocupa de los componentes físicos que se utilizarán para comunicar la información y prepara los datos para transmitirlos a través de los medios (Stallings, 2000). La subcapa de Control de enlace lógico [Logical Link Control,

(LLC)] sigue siendo relativamente independiente del equipo físico que se utilizará para el proceso de comunicación.

Ethernet divide las funciones de la capa de Enlace de datos en dos subcapas: la subcapa Control de enlace lógico (LLC) y la subcapa Control de acceso al medio [Media Access Control (MAC)]. Las funciones para la capa de Enlace de datos se asignan a las subcapas LLC y MAC. La utilización de estas subcapas contribuye a la compatibilidad entre diversos dispositivos finales (Rosado, 2007). Para Ethernet, el estándar IEEE 802.2 describe las funciones de la subcapa LLC y el estándar 802.3 describe las funciones de la subcapa MAC y de la capa física. El Control de enlace lógico se encarga de la comunicación entre las capas superiores y el software de red, y las capas inferiores, que generalmente es el hardware. La subcapa LLC toma los datos del protocolo de la red y agrega información de control para ayudar a entregar el paquete al nodo de destino. La Capa 2 establece la comunicación con las capas superiores a través del LLC (Cisco Systems, 2009). El LLC se implementa en el software y su implementación depende del equipo físico. En una computadora, el LLC puede considerarse como el controlador de la Tarjeta de interfaz de red (NIC). El controlador de la NIC (Tarjeta de interfaz de red) es un programa que interactúa directamente con el hardware en la NIC para pasar los datos entre los medios y la subcapa de Control de Acceso al medio (MAC) (Cisco Systems, 2009).

2.4. Direccionamiento IP

El direccionamiento IP se refiere a la asignación de un identificador único a un dispositivo que esté enlazado a la red.

Cada equipo conectado a una red posee una dirección física relacionada con el protocolo de acceso; por ejemplo, todo equipo conectado a una red Ethernet posee una dirección física de 48 bits la cual es asignada por el fabricante a la tarjeta de interfaz de red (Tanenbaum, 2003).

Las direcciones IP identifican de forma única y global tanto a sistemas finales como a los intermedios. Estas direcciones hacen posible el encaminamiento de los paquetes de extremo a extremo.

Las direcciones IP poseen 32 bits de longitud repartidos en tres secciones: un código que indica la clase de red, un identificador de la red y un identificador de la estación dentro de su red. Las direcciones se agrupan en las siguientes clases y la Figura 2.6 representa una esquematización del formato (Mañas, 2004).

Clase A: Son para redes integradas por numerosos ordenadores. Estas redes son escasas y por ello sólo se dedican pocos bits para su identificación: siete bits que permiten enumerar hasta 2^7 (128 redes).

Clase B: Se ocupan en redes con un número medio de ordenadores. Pueden enumerarse hasta 2^{14} (16384 redes).

Clase C: Este tipo de direcciones se destinan a redes con pocos ordenadores y se pueden direccionar hasta 2^{21} (2097152 redes).

Clase D y clase E: Son direcciones reservadas para usos especiales. Por ejemplo, las de direcciones de clase D se usan para la multidistribución.

0	Red (7 bits)	Ordenador (24 bits)	CLASE A
1 0	Red (14 bits)	Ordenador (16 bits)	CLASE B
1 1 0	Red (21 bits)	Ordenador (8 bits)	CLASE C
1 1 1 0	(28 bits)		CLASE D
1 1 1 1 0	(27 bits)		CLASE E

Figura 2.6. Formatos de las distintas clases de direcciones IP.

2.5. Protocolo TCP/IP

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas de operación que establecen los lineamientos de comunicación con el objeto de dirigir el intercambio ordenado de datos a través de la red y también para suministrar la corrección de errores en la información incomprensible (Herrera, 2003).

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) es una serie de protocolos que surgió de la unión de tecnologías con el objeto de promover un ambiente de red homogéneo.

TCP/IP opera a través de un amplio rango de enlace de comunicaciones: desde líneas dedicadas hasta circuitos de paquetes conmutados. Lo anterior permite la integración de múltiples plataformas de cómputo, también admite que cualquier aplicación transmita datos entre redes locales y de redes de área extendida. El manejo de confirmación de recepción de mensajes se hace entre la maquina origen y la maquina destino, en vez de hacerlo entre las maquinas que conforman la ruta de transmisión (Atelin, 2007).

2.5.1. Arquitectura TCP/IP

La arquitectura TCP/IP se compone de cuatro niveles con sus respectivos protocolos (Figura 2.7).

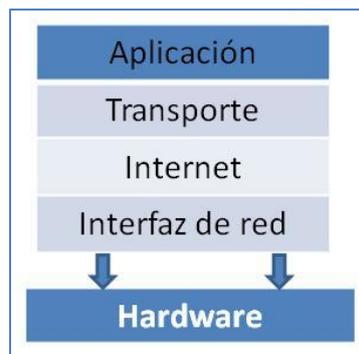


Figura 2.7. Arquitectura TCP/IP.

El Nivel de Aplicación incluye los procesos de usuario cooperando con otros procesos en el mismo o en otro host. Tales como, Telnet, FTP, SMTP, HTTP, RPC, NFS, XDR, SNMP, DNS, RIP, etc. El Nivel de transporte permite la transferencia de datos punto a punto en las formas UDP (User Datagram Protocol) y TCP (Transmission Control Protocol). UDP es un protocolo que maneja la transmisión de paquetes, no está orientado a la conexión, cada paquete se enruta individualmente y no utiliza ningún tipo de confirmación, no maneja realimentación para control de flujo y por ello los mensajes puede perderse o duplicarse. El protocolo TCP maneja flujos de corriente de bytes, está orientado a la conexión por lo que usa la misma ruta para el envío de la información y es usa ACK (acuses de recibo), control de flujo y control de errores (Atelin, 2007; Black, 1999).

El Nivel de Internet provee la imagen de “red virtual” internet, que comprende muchas redes físicas. El protocolo IP es el más importante en este nivel. Éste ofrece un servicio de entrega de paquetes sin conexión. Algunos de los protocolos de este nivel son, IP, ICMP, ARP, RARP (Stallings, 2000). El Nivel de Interfaz de red es la interfaz software al hardware de la red. TCP/IP en este nivel no especifica ningún protocolo. Puede o no proveer confiabilidad y puede estar orientado a paquetes o a flujo de bytes. Sin embargo puede ser usada en cualquier tipo de red disponible, lo cual ilustra la flexibilidad del nivel IP. Dentro de las redes que puede conectarse están: IEEE 802.x (Ethernet, Token bus, Token Ring), X.25, SNA, DECnet, Satelital, Alohanet, etc. (Atelin, 2007).

En cada nivel cada protocolo incorpora a los datos de usuario, encabezados y marcas de control de protocolo a medida que el paquete pasa por cada nivel. Los encabezados y marcas serán obtenidos y comprendidos por cada uno de los niveles en el destino de los paquetes.

2.6. Microcontrolador

Un microcontrolador combina los recursos básicos de una unidad central de procesamiento (CPU), la memoria y los recursos de entrada y salida, en un único circuito integrado. La Figura 2.8 muestra el diagrama de bloques general de un microcontrolador (Pallás, 2007).

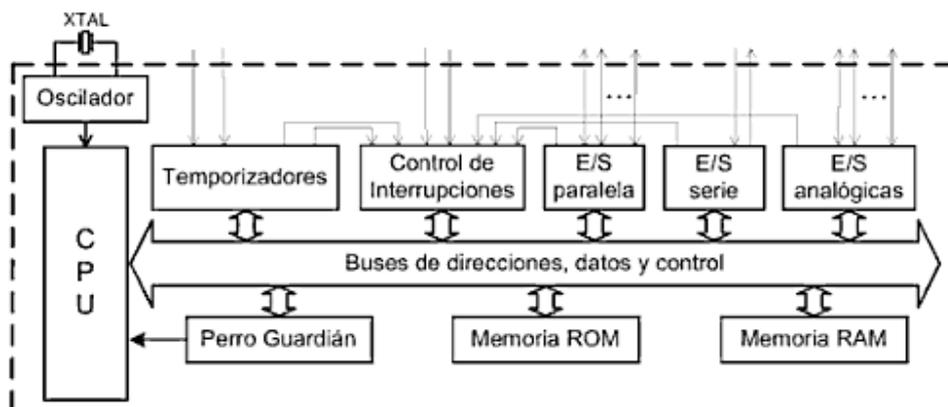


Figura 2.8. Esquema de bloques de un microcontrolador.

Actualmente los microcontroladores son un estándar para aplicaciones de mediana complejidad, por su facilidad de manejo y nivel de prestaciones.

Sus características principales son (Pallás, 2007):

- Capacidad de proceso de palabra de 8 bits.
- Frecuencia de reloj de 30 Mhz. (o más).
- Múltiples puertos de entrada / salida programables.
- Bajo consumo en versiones CMOS.
- Alta inmunidad al ruido.
- Set instrucciones muy potentes.
- Instrucciones orientadas al proceso de señales bit a bit.
- Circuito de reloj incorporado.
- Osciladores a cristal o RC.
- Perro guardián (watchdog) , que vigila el óptimo funcionamiento de la CPU.
- Conversores integrados A/D.
- Salida de modulación de ancho de pulsos (PWM) para conversión D/A.
- Comparadores de tensión.
- Temporizadores - contadores de 16 bits.
- Más de 6 niveles de interrupciones programables con niveles de prioridad.
- Protección de la memoria de programa (encriptación).

2.7. Microprocesador

Es, por excelencia, el “corazón” del ordenador, Consiste en un chip o sistema electrónico integrado capaz de interpretar y ejecutar ordenes. Su función es la de realizar operaciones y cálculos, tanto de tipo aritmético como lógico, sobre datos que le envían los programas, controlando y dirigiendo todo el proceso de datos. Consta de unas pastillas de conexión para insertarlo en una placa base del ordenador, una base de plástico, cristal de silicio y, por último, un circuito integrado, construido con laminas de aluminio y silicio, equivalente a millones de componentes electrónicos (transistores, diodos y capacitadores).

El microprocesador accede a la información, la procesa y da la respuesta adecuada. Así, la mecánica básica de un ordenador podría decirse que es la siguiente:

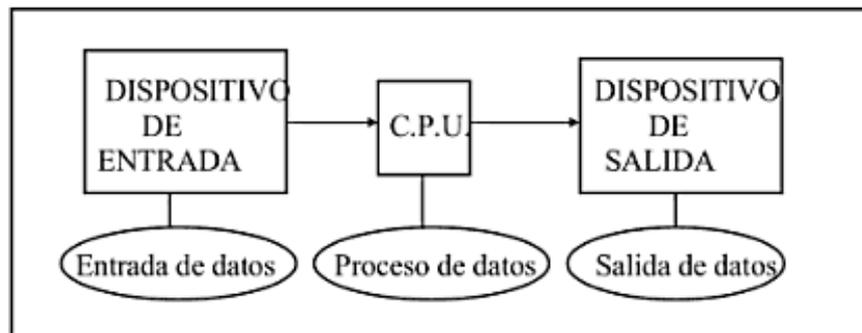


Figura 2.9. Mecánica básica de un ordenador.

El microprocesador, para llevar a cabo su función primordial (procesar datos), se divide en tres partes, cada una de las cuales tiene una tarea determinada:

- Unidad de control: es la parte del microprocesador encargada de interpretar las instrucciones que le llegan de la memoria RAM.
- Unidad aritmética-lógica (VAL, más comúnmente, ALU); su función es la de realizar operaciones matemáticas y lógicas que le indica la Unidad de Control.
- Registros de Almacenamiento: esta parte permite almacenar los resultados de los cálculos obtenidos por la ALU, además de la dirección de memoria donde se encuentra la siguiente instrucción (Principios básicos de Informática, 2007)

2.8. Sistemas de riego

El primer objetivo de la irrigación es suplir la humedad necesaria y puede ser realizado de varias formas. Sin embargo sin importar el método de riego usado, el propósito de la irrigación es “el reponer periódicamente el almacenamiento de la humedad del suelo” en la zona radicular de la planta (García y Briones, 2007).

2.8.1. Humedad de suelo

Si existe un exceso de humedad, o una insuficiencia de agua en el suelo, el crecimiento del cultivo será retardado. Mientras que la irrigación es un medio artificial usado para agregar humedad al suelo para prevenir deficiencias de humedad, un mal uso de irrigación creara problemas de exceso de humedad. Como es definido comúnmente, la humedad aprovechable es aquella que es retenida en los suelos, estos rangos varían dependiendo de las texturas del suelo (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Valores aproximados de humedad aprovechable (HA) para algunas clasificaciones de textura de suelos.

Clasificación de texturas	Centímetros de agua por metro de suelo
Textura gruesa: arena de grava	3.33 – 6.25
Textura de arena media, arena fina y migajón arenoso	6.25 – 10.42
Textura moderada	10.42 – 14.58
Textura media: arena fina, migajón, limo y sedimento	12.50 – 19.17
Textura moderadamente fina, migajón arcilloso, migajón arcilloso arenoso	14.58 – 20.83
Textura fina: arcillas, arcilla-arena, arcilla limosa	13.33 – 20.83
Suelo orgánico	16.67 – 25.00

Cuando la humedad residual en un suelo está en un rango abajo del 50 al 70% de la humedad considerada aprovechable aproximándose al valor de punto de marchitez permanente, el suministro limitado del agua jugara un papel muy importante en retardar el crecimiento de la planta. Si la planta sufre una deficiencia hídrica a un valor muy próximo del punto de marchitez permanente, es probable que ya no se recobre y muera (García y Briones, 2007).

2.8.2. Insumos de la irrigación

El objetivo de un apropiado manejo de la irrigación es el de maximizar las eficiencias y minimizar los requerimientos de mano de obra y capital para un sistema de riego tanto como sea posible; y, al mismo tiempo mantener un medio ambiente favorable para el crecimiento de la planta en orden de maximizar el rendimiento del cultivo.

2.8.3. Criterios para seleccionar los métodos de riego

Las consideraciones que deben tomarse en cuenta en la selección de un sistema de riego varían en importancia de localización a localización y de cultivo a cultivo; éstas incluyen la compatibilidad del sistema con el resto de las operaciones agrícolas y factores económicos, limitaciones topográficas, propiedades del suelo y otros muchos factores externos de la agricultura.

2.8.4. Suministro del agua

Las características pertinentes al suministro del agua que deben ser consideradas al seleccionar un sistema de riego son:

- Cantidad del agua: la cantidad total de agua disponible durante la temporada de cultivos.
- El tamaño del gasto: la tasa a la cual el agua puede ser suministrada a cualquier tiempo.
- La calidad del agua: la clase y cantidad de sales disueltas en el agua usada para el riego.
- Las veces de que se dispone de agua: ¿se dispone de agua siempre que es requerida o el agricultor tiene que esperar su turno cuando la requiera?

La selección de un sistema de riego es dictada por las condiciones del sitio, las económicas y la disponibilidad del equipo.

2.8.5. Programación de los riegos

Programar los riegos es un procedimiento usado para predecir las necesidades de agua de la planta a futuro basándose en las mediciones del estatus de humedad actual en el suelo y en los datos climatológicos registrados históricamente. Los datos actuales de la humedad en el suelo nos permiten establecer las condiciones iniciales, y los datos climatológicos disponibles nos permiten extrapolar hacia el futuro dicha humedad en el suelo. Programar los riegos tiene como objetivo mejorar el manejo del agua de tal manera que solo se aplicada en el tiempo y en la cantidad necesaria. En regiones donde existe escasez de agua esto puede dar como resultado una mejora inmediata en el total de la cantidad de producto cosechado al aumentar las áreas de cultivo bajo riego. En regiones donde existen excedentes de agua puedes ayudar a corregir problemas de drenaje los cuales son producto de un exceso en la aplicación del agua. La práctica de la programación de los riegos hace un agudo contraste con el proceso de regar de acuerdo con un predeterminado inervalo.

2.9. Desarrollo del Modelo del sensor para humedad de tierra

Por las leyes de corriente de Kirchhoff, tenemos que $I_1=I_2$ (Debes de diferenciar los dos modemos, y poner su escritura y grafica del comportamiento correspondiente).

2.9.1. Modelado para el sensor de humedad de suelo

Considerando la ley de Ohm tenemos que $V = (R)(I)$, como lo que nos interesa conocer es la corriente despejamos la fórmula para que nos quede de la siguiente manera: $I = \frac{V}{R}$

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_O}{RH} \quad (2.1)$$

$$I_2 = \frac{V_O - V_{GND}}{R_i} \quad (2.2)$$

Sustituyendo para $I_1=I_2$ tenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{V_{CC} - V_O}{RH} = \frac{V_O - V_{GND}}{R_i} \quad (2.3)$$

Como lo que nos interesa conocer es nuestro voltaje de salida, despejamos nuestra ecuación:

$$\frac{V_{CC}}{RH} - \frac{V_o}{RH} = \frac{V_o}{R_i} - \frac{V_{GND}}{R_i} \text{ Donde } -\frac{V_o}{RH} \text{ vale } 0$$

Así entonces tenemos:

$$\frac{V_{CC}}{RH} - \frac{V_o}{RH} = \frac{V_o}{R_i} \quad (2.4)$$

Despejando Vcc:

$$\frac{V_{CC}}{RH} = \frac{V_o}{R_i} + \frac{V_o}{RH} \quad (2.5)$$

Agrupando Vo:

$$\frac{V_{CC}}{RH} = V_o \left(\frac{V_o}{R_i} + \frac{V_o}{RH} \right) \quad (2.6)$$

$$\frac{V_{CC}}{RH} = V_o \left(\frac{1}{R_i + RH} \right) \quad (2.7)$$

$$V_{CC} = V_o \left(\frac{RH}{R_i + RH} \right) \quad (2.8)$$

Comprobando para RH= 0:

$$V_o = V_{CC} \left(\frac{RH}{R_i + RH} \right) \quad (2.9)$$

$$V_o = V_{CC} \left(\frac{0}{R_i + 0} \right) = 0$$

Comprobando para $R_i=0$

$$V_o = V_{cc} \left(\frac{RH}{0 + RH} \right) = V_{cc}(1) \quad (2.10)$$

$$\therefore V_o = V_{cc}$$

2.9.2. Sistema de control para aplicación de la señal del sensor de humedad de suelo utilizando INA128:

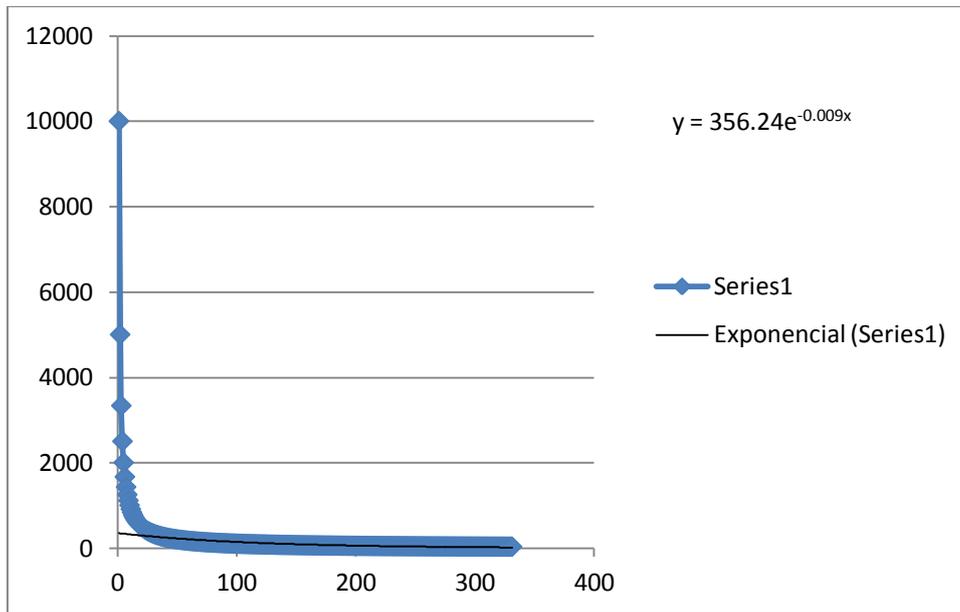


Fig. 2.10. Grafica representativa del sistema de con INA128.

Ahora tenemos para nuestro control del sensor de humedad el siguiente modelo, utilizando el INA128:

$$i_1 = \frac{V_o - V_x}{R} \quad (2.11)$$

$$i_2 = \frac{V_x - V_a}{R} \quad (2.12)$$

$$i_3 = \frac{V_a - V_{in^-}}{R} \quad (2.13)$$

$$i_4 = \frac{V_{in^-} - V_{in^+}}{Rg} \quad (2.14)$$

$$i_5 = \frac{V_{in^+} - V_b}{R} \quad (2.15)$$

$$i_6 = \frac{V_b - V_y}{R} \quad (2.16)$$

$$i_7 = \frac{V_y - 0}{R} \quad (2.17)$$

Para encontrar a V_x tenemos que $I_1=I_2$

$$\therefore \frac{V_o}{R} - \frac{V_x}{R} = \frac{V_x}{R} - \frac{V_a}{R} \quad (2.18)$$

$$\frac{V_o}{R} = 2 \frac{V_x}{R} - \frac{V_a}{R} \quad (2.19)$$

Para encontrar V_y tenemos que $I_6=I_7$:

$$\therefore \frac{V_b}{R} - \frac{V_y}{R} = \frac{V_y}{R} \quad (2.20)$$

$$\frac{V_b}{R} = 2 \frac{V_y}{R} \quad (2.21)$$

Usando $V_x=V_y$ (por ser voltaje virtual) tenemos:

$$\frac{V_o}{R} = \frac{V_b}{R} - \frac{V_a}{R} \quad (2.22)$$

$$V_o = V_b - V_a \quad (2.23)$$

Para obtener V_{in^-} tenemos que $I_3=I_4$:

$$\frac{V_a}{R} - \frac{V_{in^-}}{R} = \frac{V_{in^-}}{Rg} - \frac{V_{in^+}}{Rg} \quad (2.24)$$

$$\frac{V_a}{R} = V_{in^-} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{Rg} \right) - \frac{V_{in^+}}{Rg} \quad (2.25)$$

$$V_a = V_{in^-} \left(1 + \frac{R}{Rg} \right) - \frac{R}{Rg} V_{in^+} \quad (2.26)$$

$$V_a = V_{in^-} \left(1 + \frac{R}{Rg} \right) - \frac{R}{Rg} V_{in^+} \quad (2.27)$$

Para V_{in^+} tenemos que $I_4=I_5$

$$\frac{V_{in^-}}{Rg} - \frac{V_{in^+}}{Rg} = \frac{V_{in^+}}{R} - \frac{V_b}{R} \quad (2.28)$$

$$\frac{V_{in^-}}{Rg} - V_{in^+} \left(\frac{1}{Rg} + \frac{1}{R} \right) = -\frac{V_b}{R} \quad (2.29)$$

$$-V_b = \frac{R}{Rg} V_{in^-} - V_{in^+} \left(\frac{R}{Rg} + \frac{R}{R} \right) \quad (2.30)$$

$$-V_b = \frac{R}{Rg} V_{in^-} - V_{in^+} \left(\frac{R}{Rg} + 1 \right) \quad (2.31)$$

$$V_b = V_{in^+} \left(\frac{R}{Rg} + 1 \right) - V_{in^-} \left(\frac{R}{Rg} \right) \quad (2.32)$$

Sustituyendo en nuestra ecuación principal, tenemos que $V_o = V_b - V_a$:

$$V_o = V_{in^+} \left(\frac{R}{Rg} + 1 \right) - V_{in^-} \left(\frac{R}{Rg} \right) - V_{in^-} \left(1 + \frac{R}{Rg} \right) + \frac{R}{Rg} V_{in^+} \quad (2.33)$$

$$V_o = V_{in^+} \left(\frac{2R}{Rg} + 1 \right) - V_{in^-} \left(1 + \frac{2R}{Rg} \right)$$

(2.34)

$$V_o = (V_{in^+} - V_{in^-}) \left(\frac{2R}{R_g} + 1 \right) \quad (2.35)$$

Para el INA128 $R = 25K_{\Omega}$

$$\therefore V_o = (V_{in^+} - V_{in^-}) \left(1 + \frac{50}{R_g} \right)$$

2.9.3. Tarjeta Arduino

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica, la cual cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos seriales), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador, basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o con un adaptador AC-DC o batería para iniciarlo. La Mega2560 es compatible con la mayoría de los protectores diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila.

El Mega2560 difiere de todas las placas anteriores, ya que no utiliza el chip controlador FTDI USB-to-serial. En su lugar, se cuenta con el ATMEGA16U2 programado como convertidor USB a serie.



Figura 2.11. Placa electrónica Arduino Mega2560.

3. IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO

En el desarrollo y estudio de este capítulo, se muestran dos estrategias utilizadas para desarrollar el proyecto de investigación “Sistema de control de riego automático mediante el monitoreo de humedad de suelo vía internet (SRAMHI)”, además de la instalación y puesta en marcha del mismo. También se mostrará la implementación de la plataforma de programación, donde se muestra la lectura de los parámetros de consumo mostrados por el sistema (para comodidad de los usuarios); al mismo tiempo se presentarán los equipos utilizados en el sistema de monitoreo así como su operación.

3.1. 1ra Estrategia: control y monitoreo de humedad del suelo para un sistema de riego a través de un PLC.

Para la medición del consumo de agua de riego se instalo un medidor marca Arad modelo M, el cual proporciona un buen desempeño a bajo costo, este equipo aparte de su bajo precio nos da la ventaja de proporcionar un pulso por cada 10 litros de agua (Arad) que fluye atreves de él, de tal manera que podemos introducir este pulso a tarjeta de adquisición de datos y podemos tener lecturas de consumo de agua en tiempo real. Cuenta con una sólo parte móvil, la turbina, se encuentra en contacto con el agua, lo que produce un desgaste mínimo y de mayor confiabilidad. Dicho medidor se ilustra en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Medidor de flujo de agua marca Arad, modelo M.

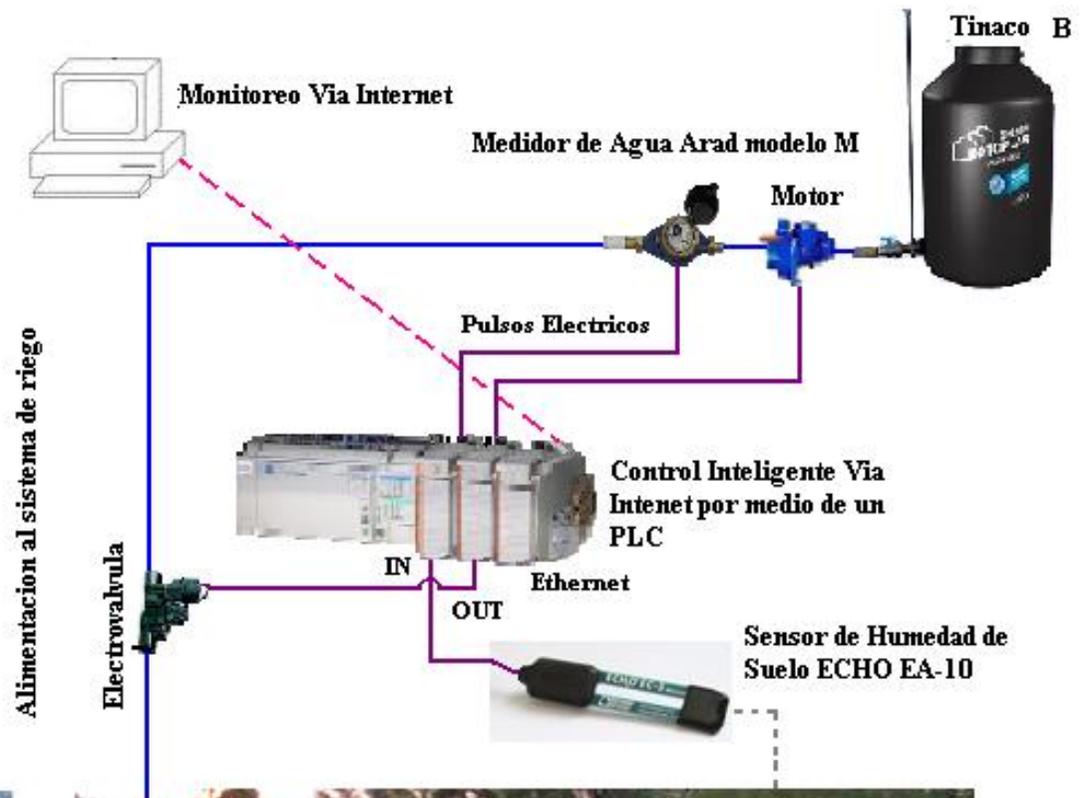
Para poder observar si el sistema tendrá un ahorro significativo en el consumo de agua, se instaló el medidor de flujo en la toma de agua de riego manual de las áreas verdes de posgrado. Esto con la finalidad de compararlo con el consumo de agua empleando el SRAMHI (Figura 3.2).



Figura 3.2 Medidor de Flujo instalado en toma de agua para riego manual.



Monitoreo del consumo de Agua en Techo Verde Edificio G Posgrado



Control y Monitoreo del consumo y Comportamiento Termico Edificio H Posgrado

Figura 3.3. Propuesta de diseño para monitoreo del consumo de agua en edificio H de posgrado.

La Figura 3.3 muestra el diseño propuesto para la implementación del sistema de riego controlando la variable humedad para el ahorro de agua en techos verdes ubicados en el edificio de posgrado de la facultad de ingeniería de la UAQ.

3.1.1. PLC (Programmable Logic Controller)

El MicroLogix 1500 es una plataforma de control lógico programable que cuenta con un innovador diseño de dos piezas y medidas pequeñas. El procesador y la base se deslizan juntos para formar el controlador completo. Estos se reemplazan independientemente, lo cual permite maximizar las opciones de E/S incorporadas y minimizar los costos de inventario (Figura 3.4).

El controlador está formado por los siguientes componentes: una fuente de alimentación, circuitos de entrada, circuitos de salida y un procesador, y está pensado para montarse sobre un carril DIN. En nuestro caso se dispone de:

- Unidad base modelo 1764-24BWA: 12 entradas a 24 VCC y 12 salidas de relé.
 - Fuente de alimentación a 120/240 VCA
 - Procesador modelo 1764-LSP, con 7Kb de capacidad para programa de usuario.
- Para programar el controlador se usa el software RSLogix 500 de Rockwell Software.



Figura 3.4 Controlador MicroLogix 1500, conectado a una fuente dual.

3.1.2. Determinación de valores máximos y mínimos de humedad.

Para determinar los valores mínimos y máximos de humedad del suelo, se utilizó un sistema de riego conformado por dos macetas, las cuales se usaron como contenedores para el suelo (obtenido de la facultad de ingeniería); que como primera etapa nos servirán para caracterizar los sensores de humedad, dichas macetas contenían la cantidad necesaria de tierra. Se probaron los sensores para verificar su buen funcionamiento, esto se determinó realizando mediciones en condiciones de mínima humedad ambiental (a la intemperie) y de máxima humedad (sumergiendo totalmente en agua. Una vez que se verificó su funcionalidad, se procedió a medir la humedad sobre el suelo. Para determinar de mínima humedad el suelo contenido en las macetas se mantuvo durante un día bajo el sol y sin regar, con la finalidad de reducir sus niveles de humedad. Pasado este tiempo, se incrustó el sensor, el cual arrojó valores cercanos a las condiciones de humedad mínima previamente registradas por el mismo; con estos datos, se determinó que este valor pertenecía al valor mínimo de humedad del suelo. Para la determinación máxima de humedad, el suelo contenido en las macetas se humedeció mediante aspersores; el valor máximo de humedad del suelo considerado, fue el valor cercano al registrado por el sensor sumergido en agua. Para establecer estos valores como máximos y mínimos de humedad de suelo, se realizaron tres mediciones en condiciones de mínima humedad y tres mediciones en condiciones de máxima humedad (Figura 3.5).



A

B

Figura 3.5. Representación visual de un suelo con humedad mínima (A) y máxima (B).

Una vez establecidos los valores mínimos y máximos de humedad del suelo, se procedió a automatizar el sistema. Para ello se desarrolló un programa utilizando un PLC marca Allen Bradley serie 1500 de la familia Micrologix, el cual trabajó de forma ON/OFF, activándose cuando el sensor conectado a una de las entradas de su modulo de Entradas Analógicas llegaba al valor mínimo establecido; al activarse esta entrada, el PLC manda una señal a la bomba sumergible para ser activada y bombear agua a través de la manguera flexible, regando la tierra en la maceta. Al registrar el valor máximo en el PLC, este manda una señal a la bomba que le indica parar de regar. El sistema pudo ser controlado y monitoreado inalámbricamente a nivel local a través de un modulo Ethernet y un modem inalámbrico (Figura 3.6).

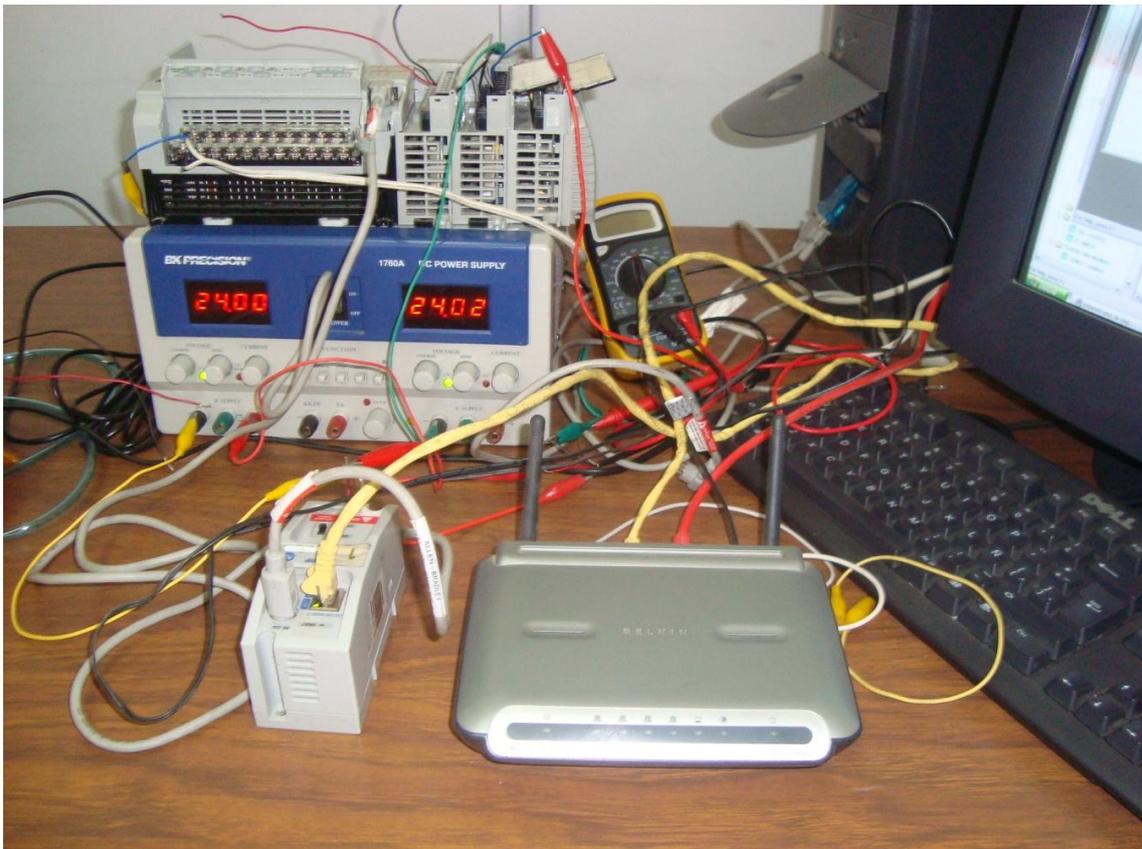


Figura 3.6. Conexión inalámbrica del sistema de riego al PLC, utilizando modulo Ethernet.

3.2. 2da Estrategia: control y monitoreo de humedad del suelo para un sistema de riego a través de una tarjeta Rabbit RCM6700.

3.2.1. Descripción de la zona de interés.

El experimento se desarrolló en el edificio G de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, específicamente en los salones de clase (Figura 3.7). Este edificio cuenta con cinco salones de clase, una sala de juntas y un cuarto de control. Los cuartos elegidos para este estudio se consideran idénticos. En la Figura 3.2 se puede apreciar una vista del diseño esquemático en la cual se muestran las unidades de la posición relativa de los salones, puertas, ventanas y proyección, además de las dimensiones generales.



Figura 3.7. Edificio G, donde se implementara el sistema de riego.

Cuatro de los salones de clase tienen un área cubierta de 40 m^2 cada uno, y el otro salón cuenta con un área cubierta de 32 m^2 ; la sala de juntas es de un área cubierta de 56 m^2 . El cuarto de control (donde se realizaron el registro, análisis y supervisión de las variables) tiene un área cubierta de 16 m^2 . La altura de todo ellos corresponde a 3 m, y esto se muestra en la Figura 3.8.

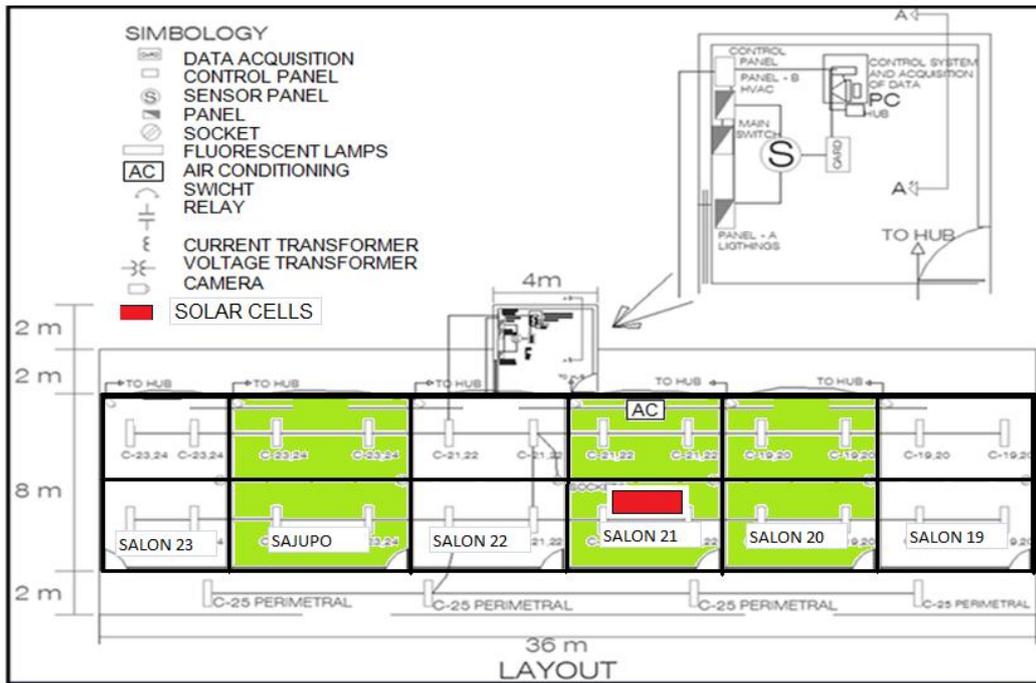


Figura 3.8. Diseño esquemático del edificio G (posición relativa de los salones, puertas, ventanas, proyección y dimensiones generales).

El edificio es de un solo nivel y la envolvente del edificio es de loza de concreto armado de 300 kg/cm², de 12 cm de espesor, muros laterales con tabique aparente hueco de 14 cm de ancho por 30 cm de largo. Los muros que dividen a los salones son de tabicón blanco de 14 cm de ancho por 30 cm de largo con aplanados de mortero, acabado en interiores y exteriores con pintura blanca vinílica de 0.5 mm de espesor, y techo cubierto de impermeabilizante Protecxa de 0.7 cm de espesor y acabado con gravilla roja (Figura 3.9).

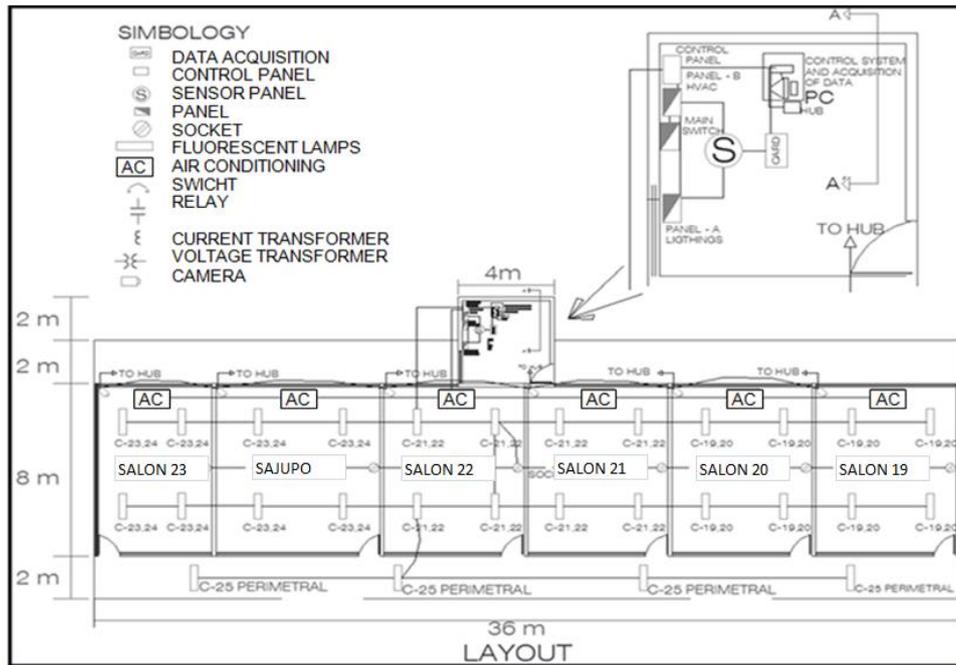


Figura 3.9. Localización y distribución de la carga eléctrica del edificio (dimensiones en metros)

3.2.2. Estructura de los techos verdes

Los techos verdes típicamente tienen los siguientes componentes:

- Impermeabilizante Antir raíz: Es una capa de impermeabilizante especial que impide que las raíces de la vegetación puedan dañarlo.
- Aislante: Protege la losa del calor o frío en exceso.
- Capa de drenaje: Permite que el agua que no alcanza a retener el sustrato se pueda drenar.
- Filtro: Evita que el sustrato se erosione con el agua.
- Sustrato: Es el medio en el cual crece la planta (tierra especial).
- Vegetación: Puede ser casi cualquier planta.

Mediante la creación de nuevas tecnologías de techo verde en edificios públicos, se analizará el comportamiento térmico e impacto bioclimático ahorro de agua y energía.

Las estructuras techo verde están conformadas por tres capas: superficie impermeable, suelo y vegetación.

Estructura del techo verde que hay en campo (en los edificios de posgrado): 20% arenilla, 20% composta y 60% tierra negra (suelo veritsol) ver Figura 3.10).

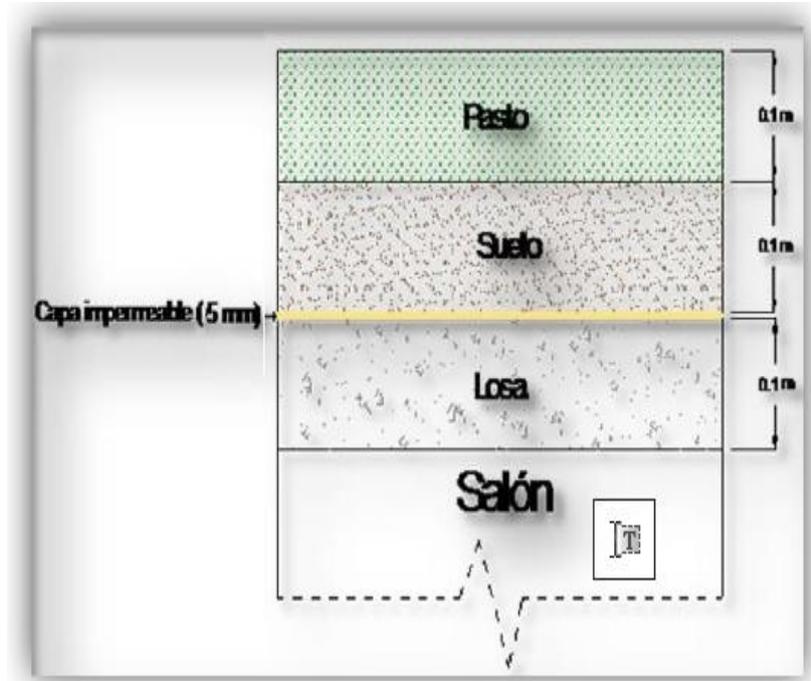


Figura 3.10. Corte transversal del techo verde con loseta DEPMI-UAQ

3.2.3. Procesamiento de datos y caracterización de humedad.

Para el procesamiento de datos en un sistema de monitoreo en línea por internet requiere varias características, las más importantes son la velocidad, la versatilidad y la capacidad de almacenamiento.

Se requiere velocidad ya que por un lado se tiene el convertidor ADS7825 el cual requiere transferencia de datos rápida, por otro lado el tipo de aplicación demanda que el procesamiento sea rápido, ya que si ocurre una falla en la bomba, esta debe ser detectada en el menor tiempo posible. La versatilidad nos indica la facilidad con la que

se pueden importar y exportar datos del dispositivo. La capacidad de almacenamiento se refiere a la cantidad máxima de datos que pueden ser almacenados en el dispositivo.

Es por estas razones es que se decidió usar la tarjeta Rabbit RCM 6700 de Digi, la cual cubre perfectamente las especificaciones requeridas, es ideal para aplicaciones web ya que cuenta con un puerto de Ethernet para usar el protocolo TCP/IP, además cuenta con varios puertos seriales y paralelos totalmente configurables.

La serie 6700 es totalmente programable, el entorno de programación es el Dynamic C compatible totalmente con ANSI C. Otra de sus ventajas es que viene con librerías pre-cargadas para realizar varias tareas como establecer una comunicación TCP/IP, Wi-Fi, USB o implementar algoritmos matemáticos. Las características más representativas de la tarjeta Rabbit RCM 6700 se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Características Rabbit RCM 6700.

Características	Capacidad
Microprocesador	Rabbit 6700 a 165 Hz
Ethernet Port	10/100 Base-T PHY
RAM	1 MB
SRAM	32 MB
Flash Memory	1 MB
Puertos	6

En la Figura 3.11 se muestra la tarjeta Rabbit RCM 6700 utilizada para el procesamiento y análisis de los datos.



Figura 3.11. Tarjeta Rabbit RCM 6700.

3.2.4. Desarrollo del sistema de monitoreo.

A continuación se describen los bloques que conforman el sistema de monitoreo, se ha mencionado con anterioridad la parte de conversión analógico-digital de la señal de los sensores capacitivos. El EA-10 es un sensor de ECH2O estándar; dicho sensor está diseñado para uso de la adquisición de datos industriales y sistemas de control. Tiene 2 hilos, una interfaz analógica de 4-20 mA estándar. La precisión típica en este tipo de suelo es de $\pm 4\%$ sin necesidad de calibración y 1-2% con la calibración de suelo específico (Figura 3.12).



Figura 3.12. Sensor de humedad del suelo EA-10, 4-20 mA.

Antes de realizar todo el programa de procesamiento de datos se comprobó la rapidez y estabilidad del Rabbit 6700. Se hizo un pequeño programa en C donde se realizan un número de operaciones y se registraba el tiempo transcurrido. El número de operaciones se incrementó progresivamente y se obtuvo a grafica de la Figura 3.13 donde se puede ver que el rabbit es bastante rápido y presenta una linealidad casi perfecta. Esta no es la forma más precisa de comprobar el comportamiento del dispositivo, pero nos da una clara idea del mismo y podemos ver que tiene las capacidades necesarias para la aplicación en desarrollo.

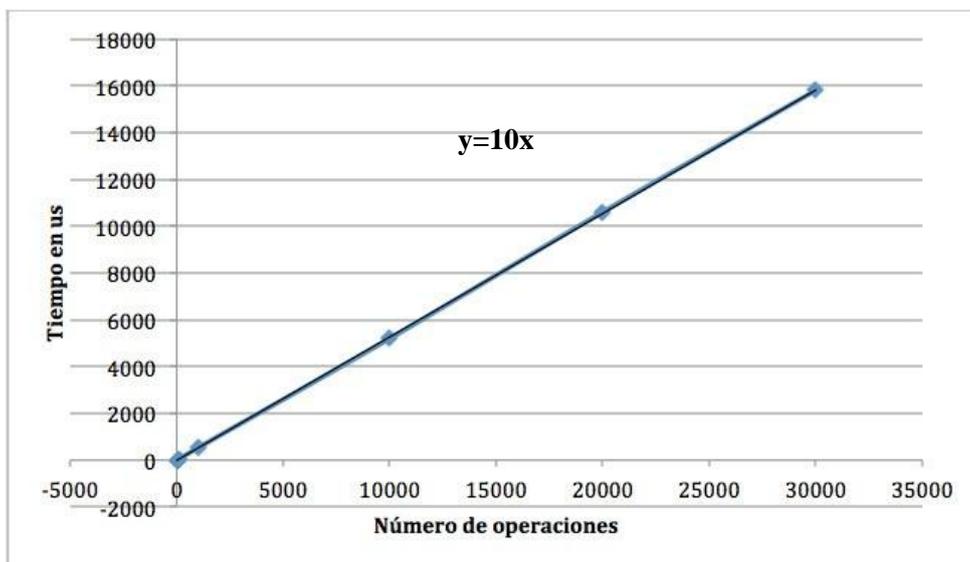


Figura 3.13. Grafica de linealidad del Rabbit 6700, para la comprobación, la rapidez y estabilidad de la tarjeta.

3.2.5. Implementación del circuito de acondicionamiento de la señal.

Para acondicionar la señal de los sensores conductivos, se utilizó un circuito con las etapas antes mencionadas de amplificación y conversión analógica-digital. Dicho circuito se muestra en la Figura 3.14.

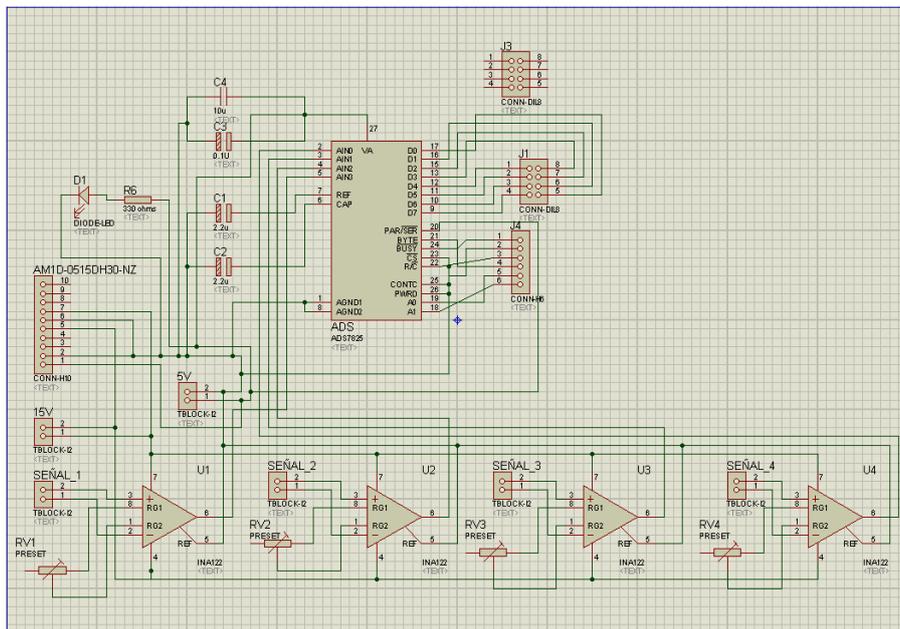


Figura 3.14. Circuito de acondicionamiento de la señal.

En las primeras pruebas se utilizó una plantilla de experimentación para implementar este circuito, esto sirvió para poder hacer pruebas con un amplificador operacional en configuración sumador inversor, con el cual se sumaron dos señales de dos generadores de funciones distintos. Esto simuló la frecuencia fundamental de la bomba de inducción (primer generador), con esto se comprobó si el sistema realmente podía detectar las frecuencias características de humedad y ver el porcentaje de éstas contenidas en la señal de corriente de la bomba. En la Figura 3.16 se puede apreciar esta primera prueba, donde conjuntamente se utilizó un osciloscopio para ver la suma de ambas señales.

Posteriormente se hizo el diseño del circuito impreso para pasarlo a placa fenolica, en la Figura 3.15 se muestran dicho diseño. Como el convertidor analógico digital cuenta con 4 canales para la conversión se incluyeron 4 amplificadores de instrumento INA128, aunque solo se ocupan tres se aprovechó para hacer la placa con los 4 amplificadores por si en un futuro se decide colocar un cuarto sensor.

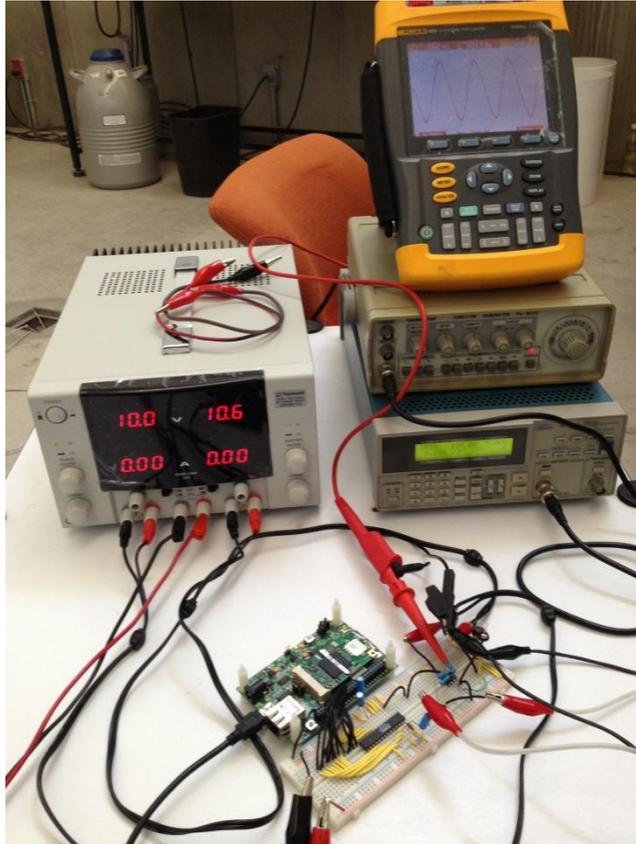


Figura 3.15. Prototipo circuito de acondicionamiento de la señal.

En la siguiente etapa del proyecto se construyó el prototipo de sistema de monitoreo con el circuito de acondicionamiento de la señal y la tarjeta Rabbit RCM 6700.

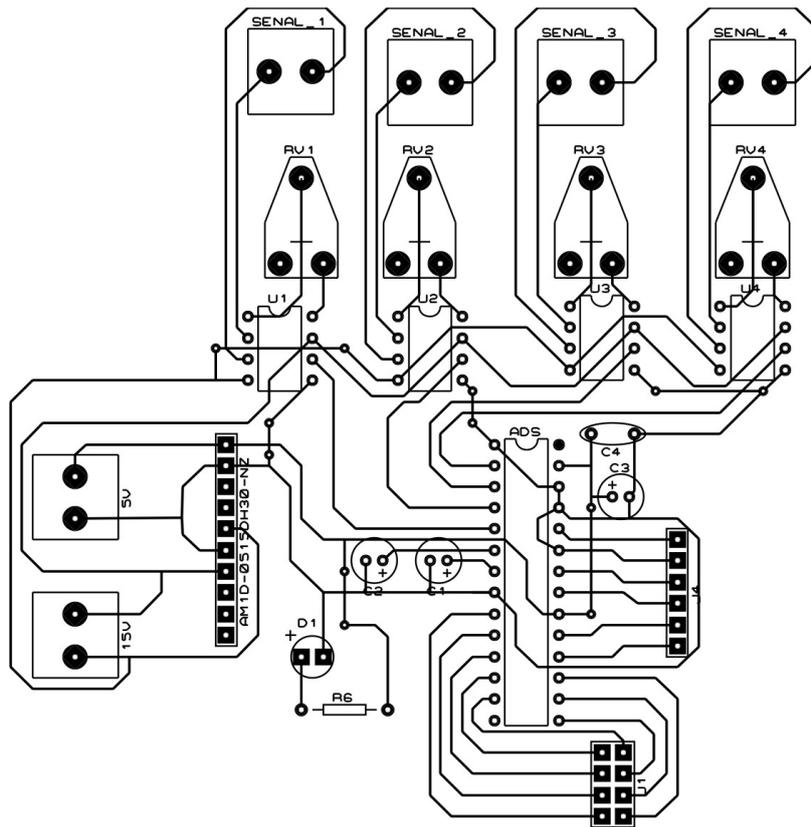


Figura 3.16. Circuito trifásico de protección contra cortocircuito.

En una primer etapa se utilizaron cables individuales para hacer la conexión entre el circuito de acondicionamiento de la señal y la tarjeta de procesamiento Rabbit 6700, pero una vez que la tarjeta de acondicionamiento de la señal se construyó en placa fenolica, se fabricaron dos buses de datos, uno para la parte de control del ADS7825 y otro para la adquisición de los datos en forma paralela.

3.2.6. Habilitación de puertos.

Para la habilitación de puertos se utilizan un conjunto de palabras reservadas del Dynamic C, con ellas se puede elegir si un puerto va a ser utilizado individualmente o en conjunto con otros para comunicación en paralelo, si el puerto será entrada o salida, si será serial o paralelo, etc.

3.2.7. Habilitación del Servidor Web

Para la selección del servidor Web se tomaron en cuenta las necesidades generales del sistema, desde el punto de vista del hardware y del software utilizado. Es necesario contar con las especificaciones detalladas de las características de los sensores que se desean interconectar al sistema, para determinar el tipo de interface (analógica o digital) adecuada.

El programa indica a la tarjeta enlazarse a una página web, la cual comparte variables con el Rabbit 6700. Si una variable es modificada desde el Rabbit, este cambio se verá reflejado en la página web; de igual forma, si una variable es modificada desde la página web este cambio se ve reflejado en la variable guardada en el Rabbit. Esto hace posible el monitoreo en línea ya que en el momento en el que el Rabbit detecte una falla, la variable asignada a la falla en la página web tendrá el valor instantáneamente, esto significa que en el momento que se consulte la página web para ver el estado de la bomba y los sensores, se observaron las condiciones de la bomba y sensores en ese instante. Esto es muy práctico, ya que si se hiciera de otra forma se tendría que esperar a que los datos de falla se suban al servidor web, lo que podría traer consecuencias negativas. La página web a la cual se enlaza el Rabbit está hecha en ZHTML, el cuál es el único formato que el Rabbit permite para hacer este tipo de comunicación.

3.2.8. Selección de canal.

A cada fase de la bomba se le acopló un sensor de humedad para estar monitoreando su estado continuamente. Para saber el estado de cada una de las fases, se asignó un canal a cada sensor de humedad. La selección del canal se hace desde la página web, inicialmente el programa comienza monitoreando continuamente la fase 1 del bomba, si el usuario desea saber el estado de alguna de las otras dos fases el bomba tiene que seleccionarlo desde la página web, en ese instante el rabbit monitoreara continuamente la fase seleccionada. Esto facilita al usuario tener especial cuidado con alguna de las fases si tiene conocimiento de que alguna es propensa a fallar.

Cualquiera que sea el canal seleccionado, el muestreo de la señal se guarda en un arreglo para posteriormente ser analizado.

3.2.9. Adquisición de la señal.

Antes de guardar el dato en el arreglo, se hace el casteo del mismo, es decir, el convertidor analógico-digital toma una muestra de la señal analógica y obtiene su representación digital con una resolución de 16 bits, pero primero entrega los 8 bits menos representativos (en inglés “Least Significant Bits” cuyas siglas son “LSB”) y luego los 8 bits más significativos (en inglés “Most Sinificant Bits” cuyas siglas son “MSB”). Durante el proceso de control sobre el ADS el Rabbit debía ser capaz de identificar las dos partes de una sola muestra (LSB y MSB) y calcular con ellos su presentación decimal en un dato de 16 Bits, de la misma forma con todas las otras muestras capturadas. Para realizar el casteo se utilizó la ecuación 3.1, donde Dato es la variable de memoria donde se guarda el valor de la muestra tomada.

$$\text{Dato} = 0.0003052(256(\text{MSB}) + \text{LSB}) \quad (3.1)$$

Donde 0.0003052 es una constante para el ADS7825, 256 es 2^8 , 2 es la base de la representación binaria, 8 es la potencia a la cual se eleva la base, este ultimo termino se refiere al bit en el cual se parte la palabra original. En este caso el dato original es de 16 bits y se parte a la mitad, es decir en el bit 8, es en el valor de este bit (en el cual se parte la palabra original) al cual se eleva la base el sistema binario y se multiplica por la parte MSB del dato original y por último se suma la parte LSB del dato original, así obtenemos la representación decimal de la palabra de 16 bits, la cual se guarda en el elemento de un arreglo para posteriormente poder procesar el arreglo de datos completo. En total se toman 1024 muestras, se convierten a su representación decimal de 16 bits y se guardan en un arreglo de este tipo.

3.2.10. Humedad y temperatura con Arduino

El sensor de humedad y temperatura RHT03 es un sensor accesible y fácil de usar. Este sensor sólo necesita una resistencia externa para trabajar y puede leer fácilmente los datos de un solo pin. Además, el sensor ya viene calibrado. Para utilizarlo

con la placa Arduino, se tiene que descargar la librería correspondiente DHT22. En la hoja de datos del RHT03, podemos comprobar el pinout del sensor:

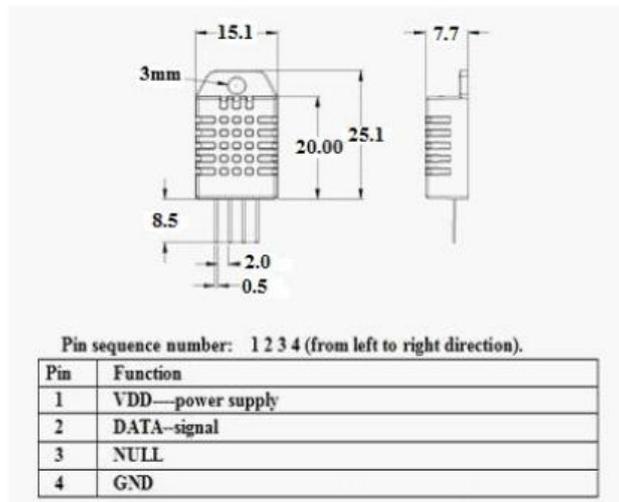


Figura 3.17. Hoja de datos del sensor RHT03.

Armar el siguiente circuito:

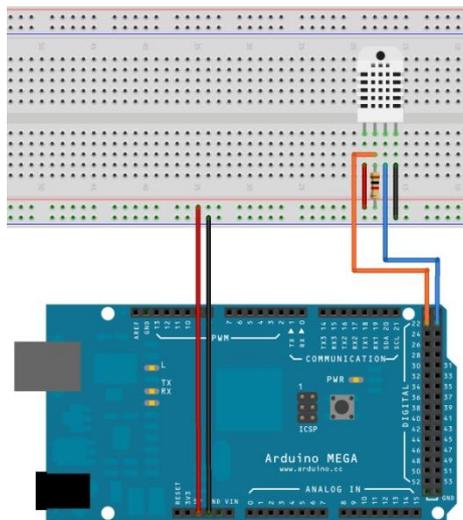


Figura 3.18. Diagrama de conexión para el sensor RHT03.

Los RHT03 trabajan de 3.3V a 6V, por lo que utilizarán los 5V proporcionados por la placa Arduino. El pin de sensor 2 va a la Arduino pin 5, con una resistencia de 1Kohm pull-up, como se muestra en la hoja de datos: El sensor de humedad y temperatura RHT03 usa un protocolo de comunicación serial propio que ocupa sólo una conexión en uno de sus pines; por esta razón deberíamos usar la información técnica del fabricante para realizar una buena comunicación. Por suerte se han desarrollado librerías de Arduino que nos ahorran este trabajo y nos ofrecen funciones de comunicación sin necesidad de pensar en la trama de datos que se envía y recibe. La librería que se ha usado es desarrollada para una familia de sensores del fabricante por lo que no sólo

funciona con el RHT03 sino con otros tipos de sensores como el DHT22. La placa del Sensor v.2 le permite conectar el TinkerKit SENSORES y ACTUADORES directamente a la placa Arduino, sin el uso de la placa.

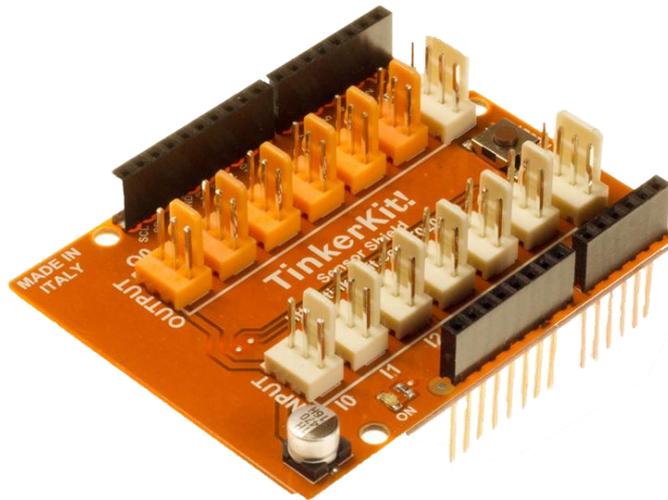


Figura 3.19. Tarjeta TinkeKit.

Cuenta con 12 conectores estándar TinkeKit 3 pines. El 6 etiquetados I0 a I5 son entradas analógicas. Los etiquetados O0through O5 son salidas analógicas conectadas a las salidas PWM capaces de la placa Arduino (es posible cambiar estos para entradas digitales, en cuyo caso se presentará un informe de alta o baja, pero no hay nada en el medio).

- Pin 11 en el Arduino es O0 en la placa.
- Pin 10 en el Arduino es O1 en la placa.
- Pin 9 en el Arduino está O2 en la placa.
- Pin 6 en el Arduino es O3 en la placa.
- Pin 5 en el Arduino es O4 en la placa.
- Pin 3 en el Arduino es O5 en la placa.

Descripción del módulo: Un LED verde indica que la pantalla se alimenta correctamente, un pulsador de 6 mm estándar le permite restablecer el tablero. El zócalo de 4 pines TWI permite la comunicación con cualquier dispositivo que soporte el protocolo I2C a través de la librería Wire en Arduino. 5V y tierra se proporcionan en el zócalo. Tenga en cuenta que el Arduino el bus I2C utiliza la entrada analógica 4 y 5, usando la conexión TWI excluye el uso de esas entradas analógicas. La toma SERIE 4 pines permite a la tarjeta se comuniquen con otros dispositivos que admiten la comunicación serial. 5V y tierra se proporcionan en el zócalo para su conveniencia. Dos orificios de montaje se proporcionan en la misma posición que se encuentra en la placa Arduino. Un tercer agujero permite ver el LED conectado al pin 13 del Arduino.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. Resultados

En el desarrollo del sistema de control de riego automático se caracterizaron los sensores de humedad de suelo, para determinar los valores de una humedad mínimos (Fig. 4.1.), y valores humedad máximos (Fig. 4.2.), y la finalidad de generar el código de programación (PLC) necesario para el control de dicho sistema.



Fig. 4.1. Caracterización de la Humedad mínima para el sensor de humedad.



Fig. 4.2. Caracterización de la Humedad máxima para el sensor de humedad.

En la Tabla 4.1 que se muestra a continuación podemos observar un cálculo con cantidades de riego de agua que están dentro de los rangos máximos y mínimo recomendados por la FAO y en contraste el cálculo con los valores medidos por el sistema.

Tabla 4.1 Cantidades de agua para riego.

Cantidad de Agua Utilizada para Riego		
	Valor medio estimado	Valor real medido
Para un área de 964.8 m²		
Duración	Gasto de agua	Gasto de Agua
1 semana	* 1 lt/ m ² *964.8 lt/día	*0.8 lt/ m ² *771.82 lt/día
2 semanas	* 2.3 lt/ m ² *2219.04 lt /día	*1.25 lt/m ² *1206 lt /día
3 semana	*3.5 lt /m ² *3376.8 lt/día	*1.7 lt /m ² *1640.16 lt/día
4 semanas	*3.75 lt /m ² *3618 lt /día	*2.5 lt /m ² *2412 lt/día

Por otro lado se realizaron medidas de consumo de riego manual, para comparar este sistema con el sistema propuesto. En la Fig. 4.3 se muestra un registro de consumo de agua en forma manual, el cual gastaba alrededor de 40-45 m³, cada tercer día de la semana, aproximadamente por 2 horas.

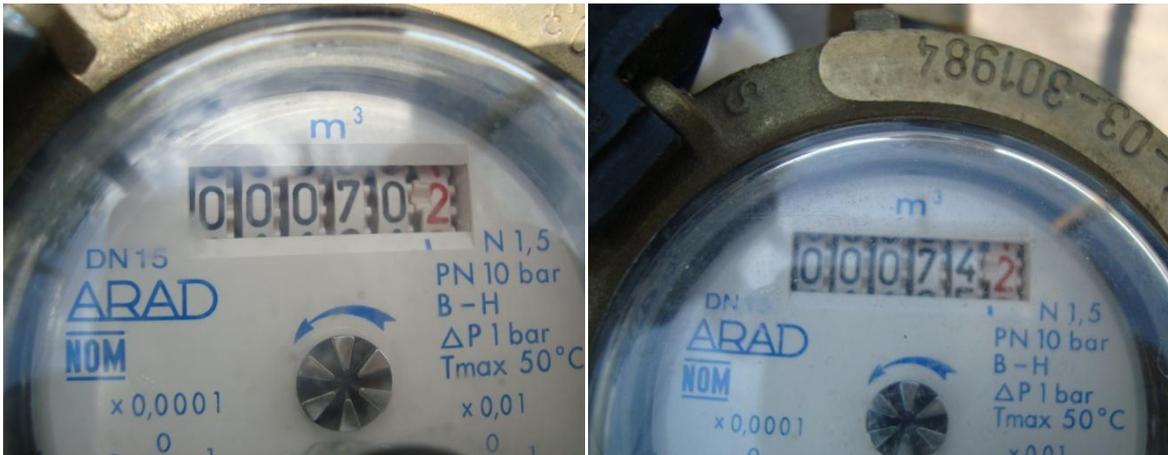


Fig. 4.3. Consumo de agua de forma manual

En la Fig. 4.4 se muestra la conexión del PLC con su módulo de Ethernet para la comunicación inalámbrica.

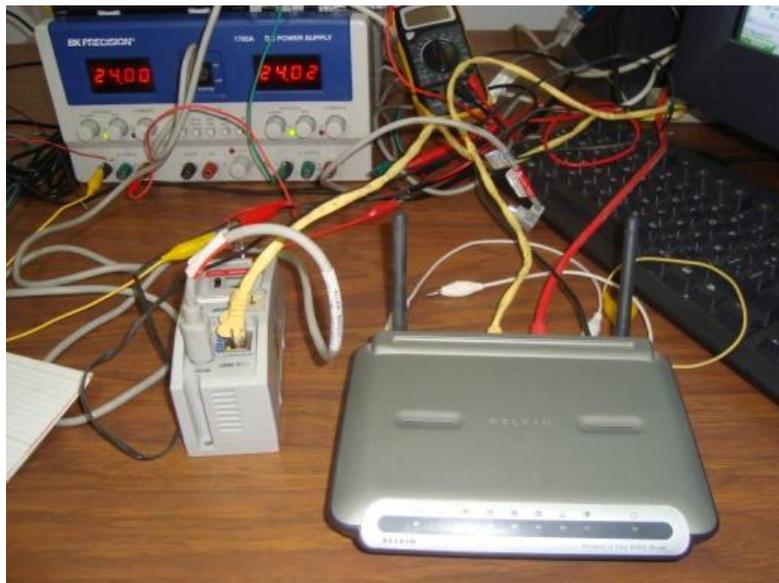


Fig. 4.4. Conexión de modulo Ethernet.

Para la segunda etapa, la cual consistió en implementar el sistema con una tarjeta Arduino, minimizando los costos y espacio de material, se realizó su correspondiente caracterización de sensores de humedad. En la Fig. 4.5 se muestra la tarjeta utilizada

conectada a un relevador para activar la bomba, además de una celda solar para alimentar la tarjeta.



Fig. 4.5. Tarjeta Arduino con celda solar como alimentación sustentable.

La Fig. 4.6 muestra el circuito probado con un sensor de humedad y temperatura, además de un amplificador de instrumentación para protección contra sobrecarga.

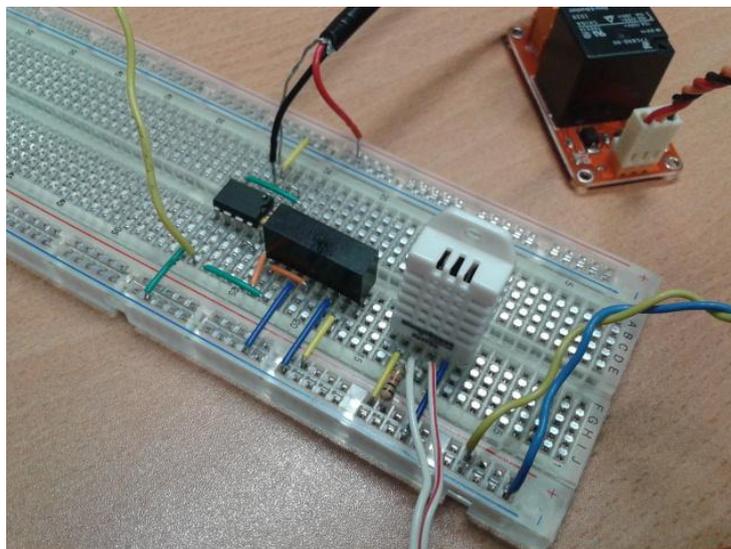
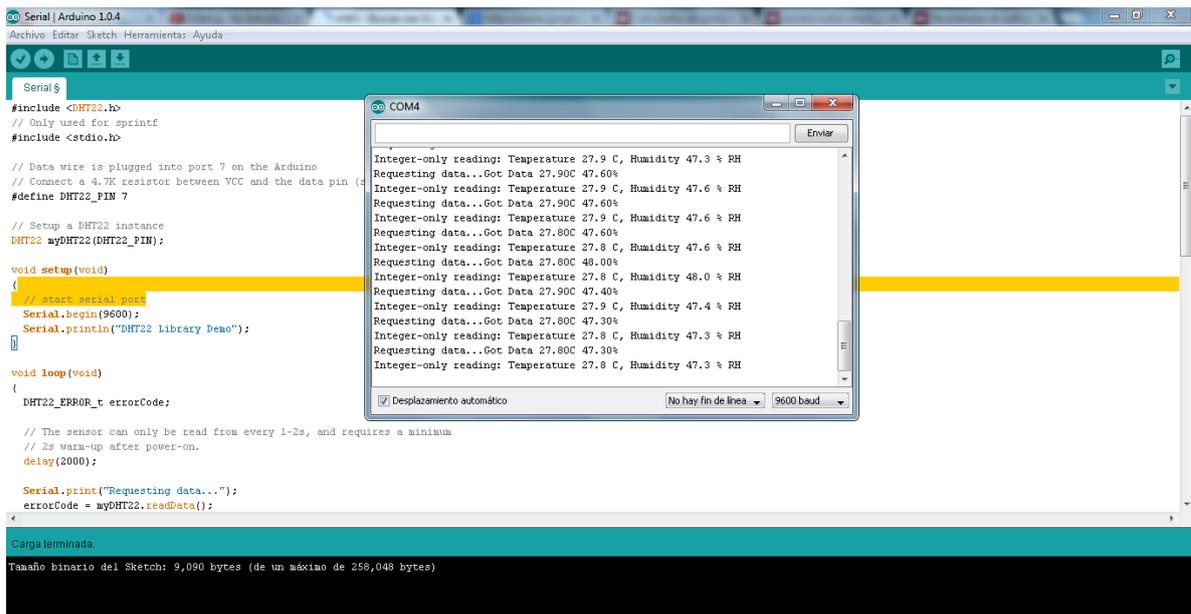


Fig. 4.6 Sensor de humedad y temperatura.

Se desarrollo el programa para caracterizar el sensor de 0-100% de humedad, con el cual se realizaron las pruebas de arranque del sistema con la tarjeta Arduino (Fig. 4.6).



4.7. Pruebas con el sensor 2da etapa, acondicionada de 0-100% de humedad.

4.2. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observo que en condiciones controladas el sistema de riego puede llegar a tener un ahorro de hasta el 50% de agua. Esto es en condiciones ideales, ya que generalmente se suelen regar las áreas verdes en horarios donde la temperatura del día alcanza sus niveles máximos, lo cual influye considerablemente en el gasto del agua, debido a una mayor evaporación.

Estas pruebas son preliminares, ya que posteriormente se pretende implementar dicho sistema en campo.

5. REFERENCIAS

Agudelo, Rodolfo. 2005 “Automatización de sistema de riego para el cultivo de flores tipo exportación”. Pontificia Universidad Javeriana.

Capraro Flavio, Tosetti Santiago, Vita Facundo, Patiño Daniel, Schugurensky Carlos, Lage Andrés. 2008. Sistema De Control Automático De Riego Por Goteo. Un Enfoque Para Restringir Agua En Olivares.

Capraro Flavio, Tosetti Santiago, Vita Facundo, Patiño Daniel, Schugurensky Carlos, Fullana Rogelio, 2008, Sistema De Monitoreo Continuo De La Humedad En Suelo Para El Control De Riego En Un Olivar (Olea Europaea L.) Empleando Labview, 37º Jaiio - Jornadas De Inf. Ind. – Agroinformática; p. 28-42.

Capraro Flavio, Tosetti Santiago, Vita Facundo, 2010, Laboratorio Virtual Y Remoto Para Simular, Monitorizar Y Controlar Un Sistema De Riego Por Goteo En Olivos, Issn: 1697-7912. Vol. 7, Núm. 1, P. 73-84.

Castro Martiniano, Águila Francisco, Quevedo Abel, Kleisinger Siegfried, Tijerina Leonardo y Mejía Enrique. 2008. “Sistema De Riego Automatizado En Tiempo Real Con Balance Hídrico, Medición De Humedad Del Suelo Y Lisímetro, Automated Irrigation System In Real–Time With Water Balance, Soil Moisture Measurement And Lysimeter”. Agricultura técnica en México; vol. 34 núm. 4: 459-470.

Comisión nacional del agua. 2011. “Estadísticas del agua en el mundo edición 2011”. Capitulo 8: p. 143-168.

CONAGUA, 2010.

Gallo, Michael, Hancock, William. 2002. “Comunicacion entre computadoras y tecnologia de redes”. Edt. Thomson. México.

García Cuevas Roque, E. 2007 “Principios básicos de Informática”. Madrid. Dykinson p. 18-20.

García Ignacio y Briones Gregorio. 2007. "Sistema de Riego por Aspercion y Goteo". Editorial Trillas. 2da Ed: 12-44.

Gutiérrez Joaquín, Porta Miguel, Romero Eduardo, Villa José F. 2012. "Innovación Tecnológica De Sistemas De Producción Y Comercialización De Especies Aromáticas Y Cultivos Élite En Agricultura Orgánica Protegida Con Energías Alternativas De Bajo Costo". Proyecto Sagarpa-Conacyt. 1ra Ed.

Herrera, E. Y Herrera P. 2003. "Tecnologías Y Redes De Transmisión De Datos". Limusa. Atelin, p. 2007. TCP/IP Y Protocolos De Internet. Ediciones ENI.

Márquez, M. J. 2001. Ethernet: Su Origen, Funcionamiento Y Rendimiento. Ingeniería Y Desarrollo. 9: 22-34.

Mañas, A. J. Mundo. 2004. "IP: introducción a los secretos de Internet y las redes de datos". Ediciones Nowtilus.

Molina, G. J., Pernia, A. D., Luzardo, E. 2001. "Introducción a los controladores PID". Universidad de los Andes. En línea:
http://www.ing.ula.ve/~dpernia/pdfs/introd_pid.PDF.

Muñoz Pablo, Buitrago Julián, Arboleda Angela, Cortes Oscar, Sánchez Andrés, Zapata Carlos. 2011. "Sistema De Instrumentación Y Monitoreo Para El Invernadero La Aldana De La Universidad Del Quindío". Scientia Et Technica Año XVI, No 49: 0122-1701.

Lugo Oziel, Quevedo Abel, Bauer Juan R., Del Valle David, Palacios Enrique y Águila Miguel. 2011. "Prototipo Para Automatizar Un Sistema De Riego Multicultivo" Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas Vol.2 Núm.5: 659-672.

Palacios V., E. 1995. Curso gerencial sobre sistemas de riego presurizado. Colegio de postgraduados. Distrito Federal México.

Pallás, A. R. 2007. "Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC". Marcombo.

Schugurensky, C., Y Capraro, F. 2008. "Control Automático De Riego Agrícola Con Sensores Capacitivos De Humedad De Suelo. Aplicaciones En Vid Y Olivo". Inactas De XVIII Congreso De La Asociación Chilena De Control Automático (Acca). Santiago, Chile.

Tanen Andrew S. 2011. "Redes de computadora". 4ta edición. Edit. Pearson

Tanenbaum, a. S. Redes de computadoras. Pearson education, cuarta edición, 2003.

López, b. F. Impactos regionales del cambio climático. Valoración de la vulnerabilidad. 2000. Papeles de geografía. 32: 77-95.

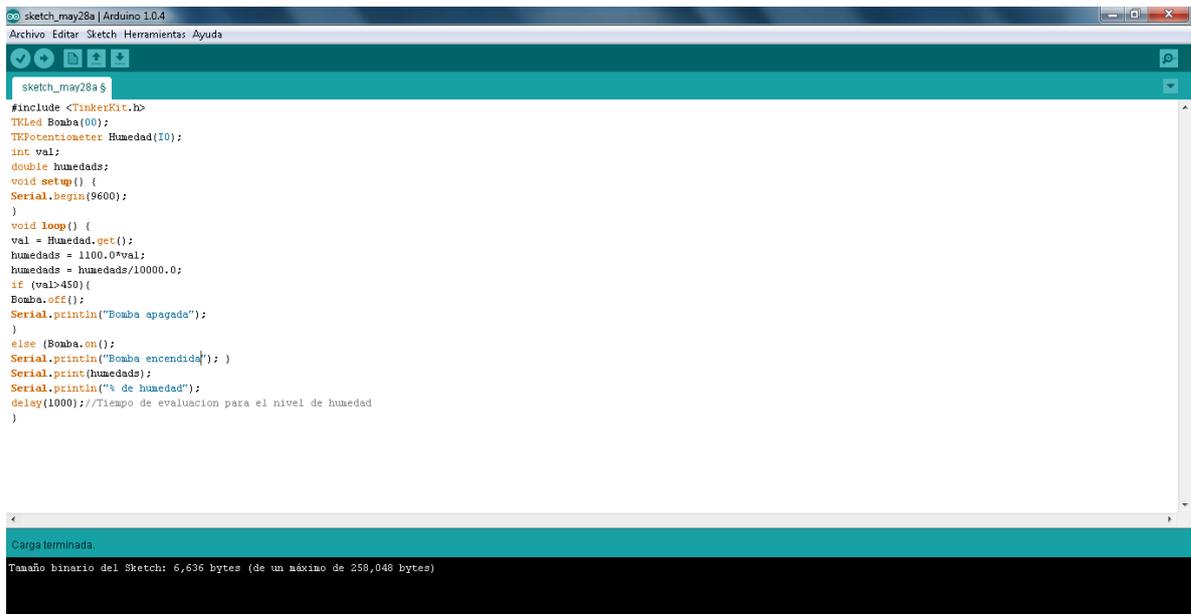
6. ANEXOS

A

Arduino

Procedimiento para caracterizar sensor de humedad:

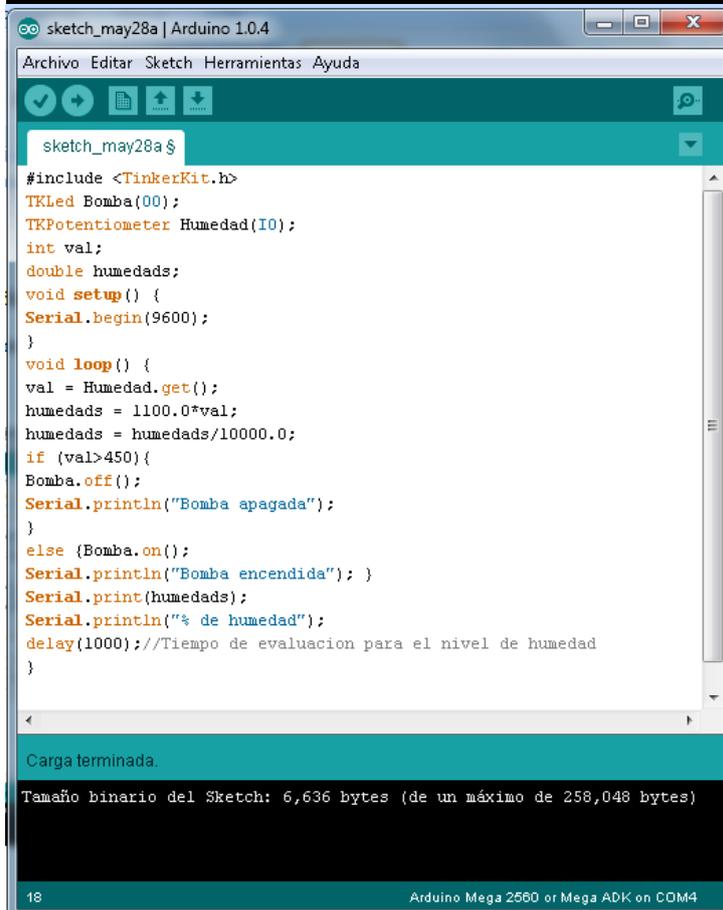
1.- Primero se le acoplo una placa



The screenshot shows the Arduino IDE interface. The main window displays the sketch code for 'sketch_may28a'. The code includes the TinkerKit.h library and defines a TKLed Bomba and a TKPotentiometer Humedad. The setup function initializes the serial port at 9600 baud. The loop function reads the potentiometer value, calculates the humidity percentage, and controls the LED based on the humidity level. A delay of 1000ms is used for evaluation.

```
sketch_may28a $
#include <TinkerKit.h>
TKLed Bomba(00);
TKPotentiometer Humedad(10);
int val;
double humedads;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  val = Humedad.get();
  humedads = 1100.0*val;
  humedads = humedads/10000.0;
  if (val>450){
    Bomba.off();
    Serial.println("Bomba apagada");
  }
  else {Bomba.on();
  Serial.println("Bomba encendida"); }
  Serial.print(humedads);
  Serial.println("% de humedad");
  delay(1000); //Tiempo de evaluacion para el nivel de humedad
}
```

Carga terminada
Tamaño binario del Sketch: 6,636 bytes (de un máximo de 258,048 bytes)



This screenshot is similar to the one above, showing the same sketch code in the Arduino IDE. The code is identical, but the status bar at the bottom indicates the target board is 'Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM4'.

```
sketch_may28a $
#include <TinkerKit.h>
TKLed Bomba(00);
TKPotentiometer Humedad(10);
int val;
double humedads;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  val = Humedad.get();
  humedads = 1100.0*val;
  humedads = humedads/10000.0;
  if (val>450){
    Bomba.off();
    Serial.println("Bomba apagada");
  }
  else {Bomba.on();
  Serial.println("Bomba encendida"); }
  Serial.print(humedads);
  Serial.println("% de humedad");
  delay(1000); //Tiempo de evaluacion para el nivel de humedad
}
```

Carga terminada.
Tamaño binario del Sketch: 6,636 bytes (de un máximo de 258,048 bytes)

18 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM4