

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ELECTRÓNICA**

TESIS:

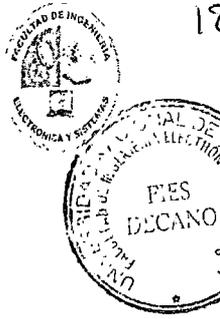
**“SISTEMA REMOTO DE CONTROL Y MONITOREO DE LA
HUMEDAD DEL SUELO PARA REDUCIR EL CONSUMO
DE AGUA DEL MAÍZ CON RIEGO POR GOTEO EN EL
VALLE DE PAMPAS”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:
Wilber, LAZO CANCHANYA
Ronald Cristian, CAMPOS TICSE**

PAMPAS 2014



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, a los 24 días del mes de Abril del año 2014, a horas 15:00, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente: Hg. Ing. Angel Almidón Elescano
 Secretario: Ing. Janeth Bertha Morino Arroyo
 Vocal: L.c.c. Segundo Fabriciano Rodríguez Sánchez

Designados con Resolución N° 106-2014-FIES-UNH del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: "Sistema Remoto de Control y Monitoreo de la Humedad del suelo para reducir el consumo de Agua del Hoz con riego por goteo en el valle de Pampas"

Cuyos autores son los graduado (s):

BACHILLER (S): Ronald Cristian Campos Tiose
Wilber Lazo Conchanya

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invito al público presente y a los sustentantes a abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

APROBADO POR Mayoría

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.


Presidente


Secretario


Vocal

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicado a nuestros padres, pilares fundamentales en nuestras vidas. sin ellos, jamás hubiésemos podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar. También dedico este proyecto a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora, en segundo lugar a cada uno de los que son parte de nuestra familia, por siempre habernos dado su fuerza y apoyo incondicional que nos han ayudado y llevado hasta donde estamos ahora. a nuestro asesor Ing. Esteban Edgar De La Cruz Vilchez. Quien nos apoyo de manera incondicional, para poder plasmar nuestros resultados en el diseño y elaboración y en el gran realcé de nuestro proyecto de investigación.

ÍNDICE

Página:

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.4.1. CIENTÍFICA	3
1.4.2. ECONÓMICA	3
1.4.3. TECNOLÓGICA	4

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	5
2.1.1. DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO CONTROLADO Y AUTOMATIZADO PARA UVA ITALIA	5
2.1.2. MODELO PARA ESTIMAR EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO.	7
2.1.3. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE FLORES TIPO EXPORTACIÓN	8
2.1.4. DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA RIEGO DE CÉSPED DE JARDÍN EMPLEANDO UN SENSOR DE HUMEDAD DE SUELOS Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	10
2.1.5. AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO CON EL PLC S7-200.	11

2.1.6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE RIEGO PARA LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL	12
2.1.7. DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA LOS LECHOS DE PRODUCCIÓN DE HUMUS DE LOMBRIZ EN LA EMPRESA BIOAGROTECSA CÍA. LTDA	13
2.1.8. DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICA PARA UN ÁREA DE CULTIVO FRUTÍCOLA EN UNA ONG	14
2.1.9. AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO EN SUSTRATOS.	16
2.1.10. PROTOTIPO DE RED DE SENSORES DE TEMPERATURA, UTILIZANDO MÓDULOS XBEE, PARA CONTROL DE INCENDIOS	17
2.2. BASES TEÓRICAS	18
2.2.1. TENSIÓN O LA SUCCIÓN DEL AGUA DEL SUELO	18
2.2.2. RIEGO CONTROLADO POR LAZO ABIERTO O LAZO CERRADO	21
2.2.3. EFICIENCIA DEL RIEGO	23
2.2.4. INSTRUMENTO VIRTUAL	25
2.2.5. REDES FLEXIBLES Y EXTENSIBLES DE BAJO COSTO	27
2.2.6. REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES	29
2.3. HIPÓTESIS	31
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	31
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	31
2.4. VARIABLES DE ESTUDIO	31
2.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE:	31
2.4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES:	31
2.6. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES	32

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	33
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	34

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	34
3.4.1 MÉTODO GENERAL	34
3.4.2. MÉTODO ESPECÍFICO	34
3.4.2.1. INDUCTIVO DEDUCTIVO	34
3.4.2.2. MÉTODOS ENSAYO ERROR	35
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	35
3.5.1. UNIDAD REMOTA	36
3.5.2. LEER DATOS DEL CONVERTIDOR ANALOGO DIGITAL	42
3.5.3. INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE "U1" Y "U2"	46
3.5.4. SUBROUTINA "Leer Almacenar Cada 5 Minutos"	49
3.5.5. PROGRAMA DE INICIO EN LA UNIDAD REMOTA	55
3.5.6. LA MEMORIA SERIAL 25C256 Y EL RTC DS3232	58
3.5.7. CONVERTIR HEXADECIMAL A DECIMAL	69
3.5.8. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	74
3.5.9. UNIDAD DE SUPERVICIÓN	77
3.6. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO	79
3.6.1. POBLACIÓN:	79
3.6.2. MUESTRA:	79
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	80
3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	80
3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	81
3.9.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	81
A.1.- PRIMER DÍA	81
A.2.- SEGUNDO DÍA	83
A.3.- TERCER DÍA	85
A.4.- CUARTO DÍA	87
A.5.- QUINTO DÍA	89
A.6.- SEXTO DÍA	91
A.7.- SEPTIMO DÍA	93
A.8.- OCTAVO DÍA	95
A.9.- NOVENO DÍA	97

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	100
4.2. DISCUSIÓN	101
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	104
ARTÍCULO CIENTÍFICO	108
	ANEXOS
MATRIZ DE CONSISTENCIA	112

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página:
Figura N°2.1.- Sensores de tensión.	20
Figura N°2.2.- Controlador en lazo abierto.	23
Figura N° 2.3.- Controlador en lazo cerrado.	23
Figura N° 2.4.- Conexión típica usando XBEE.	28
Figura N°3.1.- Unidad Remota.	36
Figura N°3.2.- Unidad Supervisora.	36
Figura N°3.3.- Módulo Remoto.	38
Figura N°3.4.- Pistas de cobre de arriba.	38
Figura N°3.5.- Pistas de cobre de abajo.	39
Figura N°3.6.- Diagrama de flujo del microcontrolador principal	39
Figura N°3.7.- Entorno del microcontrolador principal.	40
Figura N°3.8.- Diagrama de flujo del microcontrolador secundario.	41
Figura N°3.9.- Entorno del microcontrolador secundario.	41
Figura N°3.10.- El Tensiometro.	43
Figura N°3.11.- Electroválvula ELVA1.	46
Figura N°3.12.- Interface de la Electroválvula.	46
Figura N°3.13.- Intercambio de datos entre los microcontroladores.	47
Figura N°3.14.- Envío de datos entre los microcontroladores "U2" hacia "U1".	47
Figura N°3.15.- Mostrando humedad actual.	50
Figura N°3.16.- Subrutinas en el microcontrolador "U1".	51
Figura N°3.17.- Almacenamiento de datos en la memoria.	52
Figura N°3.18.- Mapeo de la memoria.	52
Figura N°3.19.- Subrutina "Leer Almacenar Cada 5 Minutos".	54
Figura N°3.20.- Datos que muestra la subrutina "Mostrar Otros Datos"	55

Figura N°3.21.- Presentacion al salir de "Leer Almacenar Cada 5 Minutos".	55
Figura N°3.22.- Programa de inicio en la Unidad Remota.	56
Figura N°3.23.- Programa de inicio en la Unidad Remota.	58
Figura N°3.24.- Módulo Xbee.	74
Figura N°3.25.- XBee Explorer USB	75
Figura N°3.26.- Pines del módulo Xbee.	76
Figura N°3.27.- Conexiones mínimas requeridas para el XBEE	76
Figura N°3.28-A.- Enlace de la Unidad Remota con la Unidad de Supervisión.	77
Figura N°3.28-B.- Recepcionando y graficando.	77
Figura N°3.29.- Almacenando datos.	78
Figura N°3.30.- Generador del sonido de alarma.	78
Figura N°3.31.- Panel frontal de la unidad de supervisión.	79
Figura N°3.32.- Primer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 cb.	82
Figura N°3.33.- Segundo día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 cb.	82
Figura N°3.34.- Tercer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 cb.	82
Figura N°3.35.- Cuarto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 cb.	82
Figura N°3.36.- Quinto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 cb.	83
Figura N°3.37.- Primer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 cb.	84
Figura N°3.38.- Segundo día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 cb.	84
Figura N°3.39.- Tercer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 cb.	84
Figura N°3.40.- Cuarto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 cb.	84
Figura N°3.41.- Quinto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 cb.	85
Figura N°3.42.- Primer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 cb.	86
Figura N°3.43.- Segundo día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 cb.	86
Figura N°3.44.- Tercer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 cb.	86
Figura N°3.45.- Cuarto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 cb.	86
Figura N°3.46.- Quinto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 cb.	87

Figura N°3.47.- Primer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 07 cb.	88
Figura N°3.48.- Segundo día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 07 cb.	88
Figura N°3.49.- Tercer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 07 cb.	88
Figura N°3.50.- Cuarto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 07 cb.	88
Figura N°3.51.- Quinto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 07 cb.	89
Figura N°3.52.- Primer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 cb.	90
Figura N°3.53.- Segundo día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 cb.	90
Figura N°3.54.- Tercer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 cb.	90
Figura N°3.55.- Cuarto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 cb.	90
Figura N°3.56.- Quinto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 cb.	91
Figura N°3.57.- Primer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 04 cb.	92
Figura N°3.58.- Segundo día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 04 cb.	92
Figura N°3.59.- Tercer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 04 cb.	92
Figura N°3.60.- Cuarto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 04 cb.	92
Figura N°3.61.- Quinto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 04 cb.	93
Figura N°3.62.- Primer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 cb.	94
Figura N°3.63.- Segundo día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 cb.	94
Figura N°3.64.- Tercer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 cb.	94
Figura N°3.65.- Cuarto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 cb.	94
Figura N°3.66.- Quinto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 cb.	95
Figura N°3.67.- Primer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 cb.	96
Figura N°3.68.- Segundo día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 cb.	96
Figura N°3.69.- Tercer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 cb.	96
Figura N°3.70.- Cuarto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 cb.	96
Figura N°3.71.- Quinto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 cb.	97
Figura N°3.72.- Primer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 cb.	98
Figura N°3.73.- Segundo día. Humedad meta 50 centibares y Error 04 Máximo cb.	98

Figura N°3.74.- Tercer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 cb.	98
Figura N°3.75.- Cuarto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 cb.	98
Figura N°3.76.- Quinto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 cb.	99

ÍNDICE DE TABLAS

	Página:
Tabla N°2.1.- Profundidad de tensiómetro	20
Tabla N°2.2.- Profundidad recomendada del tensiómetro.	21
Tabla N°2.3.- Eficiencia de los sistemas de riego	24
Tabla N° 2.4.- Comparativa de estándares RF.	30
Tabla N° 2.5.- Variable dependiente e independientes.	32
Tabla N°3.1.- Significado de teclas especiales.	40
Tabla N°3.2.- Déficit permitido de manejo del riego y profundidad de la raíz.	42
Tabla N°3.3.- Tensiones de humedad recomendadas para algunos cultivos.	44
Tabla N°3.4.- Datos de la primera semana.	81
Tabla N°3.5.- Datos de la segunda semana.	83
Tabla N°3.6.- Datos de la tercera semana.	85
Tabla N°3.7.- Datos de la cuarta semana.	87
Tabla N°3.8.- Datos de la quinta semana.	89
Tabla N°3.9.- Datos de la sexta semana.	91
Tabla N°3.10.- Datos de la séptima semana.	93
Tabla N°3.11.- Datos de la octava semana.	95
Tabla N°3.12.- Datos de la novena semana.	97

ÍNDICE DE LISTADOS

	Página:
Listado n°3.1.- conversión analogo digital.	45
Listado n°3.2.- subrutina de recepción de datos entre "u1" y "u2".	48
Listado n°3.3.- subrutina de transnision de datos entre "u1" y "u2".	49
Listado n°3.4.- inicio de programa en el modulo remoto.	56
Listado n°3.5.- subrutina "leer de memoria"	59
Listado n°3.6.- subrutina "escribir en memoria".	64
Listado n°3.7.- subrutina "escrirtc".	66
Listado n°3.8.- subrutina "leerrtc".	68
Listado n°3.9.- subrutina de convierte un numero hexadecimal a decimal.	70
Listado n°3.10.- subrutina "sumar peso de bits".	72

RESUMEN

El maíz es uno de los principales cultivos que crece en el valle de Pampas, con baja productividad y gran derroche de agua para riego. No se encuentra estudio alguno de riego por goteo automatizado sobre granos andinos que crecen en terrenos de cultivo sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar. Para lograr un riego eficiente que repongan en el suelo la humedad requerida por las plantas, se han desarrollado distintos métodos para determinar la humedad del suelo y la humedad necesaria para su desarrollo adecuado de las plantas. Para resolver este problema, construimos una unidad remota de control de la humedad en la raíz del maíz, basado en dos microcontroladores PIC y con un transmisor inalámbrico de tecnología XBee, también se diseñó un programa en LabVIEW para que sea instalado en una computadora personal y apoye como unidad supervisora. El sensor de humedad del suelo se puede reducir el consumo de agua que requiere el maíz, que utilizan riego por goteo, ubicados en el valle de Pampas, medir la humedad del suelo mediante un tensiómetro consiste en un diafragma al succionar las moléculas de agua que existe en su interior, genera una presión el cual es convertido en señal eléctrica. El actuador será una electroválvula que regulara la cantidad de agua a gotear, el cual recibirá órdenes de un microcontrolador. El sistema funciona, aunque hay un retardo de 5 a 10 minutos desde que se da la orden al actuador y hasta que el sensor de humedad detecta el cumplimiento de la orden. Solo existe dos órdenes cerrar o abrir la electroválvula. Utilizando una electroválvula que ejecuta las órdenes de la Central de Monitoreo y Control, se controla el flujo de agua para reducir su consumo que requiere el maíz con riego por goteo, monitorea inalámbricamente la humedad en la raíz del maíz mediante la tecnología XBee.

INTRODUCCIÓN

La topografía sumamente accidentada de los Andes, y los procesos de deforestación y deterioro de la cubierta vegetal del suelo, disminuye la retención de agua que llega en forma de lluvia, originando escasez del recurso hídrico. Los efectos de las bajas eficiencias del riego en la sierra contribuyen especialmente en el proceso de erosión de los suelos, originando grandes volúmenes de sedimentos que con las lluvias son arrastrados hacia las partes bajas de las cuencas.

El agua del suelo es uno de los factores más importantes que afecta la producción de las cosechas. Las plantas requieren una cantidad adecuada de humedad, la cual varía de acuerdo a la especie y al estado de crecimiento o desarrollo. El suelo es capaz de almacenar una cantidad limitada de agua, y de ésta, solo una parte es utilizada para las plantas. Para lograr un riego eficiente que repongan en el suelo la humedad requerida por las plantas, se han desarrollado distintos métodos para determinar la humedad del suelo y la humedad necesaria para su desarrollo adecuado de las plantas.

Como las unidades de producción están muy dispersas en casi toda la sierra, esta situación obliga que los agricultores no apliquen tecnología y el presente trabajo se construyó con un equipo de bajo costo y fácil manipulación. Utilizando procesadores digitales.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La topografía sumamente accidentada de los Andes, y los procesos de deforestación y deterioro de la cubierta vegetal del suelo, disminuye la retención de agua que llega en forma de lluvia, originando escasez del recurso hídrico. Los efectos de las bajas eficiencias del riego en la sierra contribuyen especialmente en el proceso de erosión de los suelos, originando grandes volúmenes de sedimentos que con las lluvias son arrastrados hacia las partes bajas de las cuencas¹.

El agua del suelo es uno de los factores más importantes que afecta la producción de las cosechas. Las plantas requieren una cantidad adecuada de humedad, la cual varía de acuerdo a la especie y al estado de crecimiento o desarrollo². El suelo es capaz de almacenar una cantidad limitada de agua, y de ésta, solo una parte es utilizado para las plantas. Para lograr un riego eficiente que repongan en el suelo la humedad requerida por las plantas, se han desarrollado distintos métodos para determinar la humedad del suelo y la humedad necesaria para su desarrollo adecuado de las plantas³.

1. Proyecto Intercambio de Experiencias de Riego por Aspersión, en Zonas de Sierra del Perú: "Viabilidad del Riego por Aspersión en la Sierra del Perú", IPROGA 2000: Lima, marzo del 2001.
2. J. Enciso, D. Porter, X. Périès; Uso de Sensores de Humedad del Suelo para Eficientizar el Riego; Sistema Universitario Texas A&M; Estados Unidos Texas 2007.
3. E. Martín. Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo? TheUniversity of Arizona. Estados Unidos. Septiembre: 2010. az1220S.pdf.

El maíz es uno de los principales cultivos del valle de Pampas, con baja productividad y gran derroche de agua para riego, crece en unidades agropecuarias que si pertenecen a un mismo propietario están muy distantes entre ellos y no son muy grandes, desanimando la inversión en tecnología agropecuaria⁴.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo reducir el consumo de agua de riego por goteo que requiere el maíz ubicado en el valle de Pampas?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

A.-Cuál es la humedad óptima para el desarrollo del maíz en el valle de Pampas.

B.-Cómo monitorear y controlar remotamente el consumo de agua en un sistema de riego por goteo de un cultivo de maíz.

C.-Cómo comunicar inalámbricamente la "Unidad de monitoreo y control" y la "Unidad de supervisión remota", del sistema de control de humedad en el cultivo de maíz.

D.-Cual será el funcionamiento integral del sistema en la reducción del consumo de agua en un sistema de riego por goteo de un cultivo de maíz en el valle de Pampas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

4. Plan Estratégico de Desarrollo Regional Concertado y Participativo de Huancavelica 2004-2015: "Visión y Esfuerzo Concertado y Participativo para el Desarrollo Humano de Huancavelica" Gobierno Regional de Huancavelica. Huancavelica Perú; Julio 2008, Huancavelica pdf.

Reducir el consumo de agua de riego por goteo que requiere el maíz mediante un sistema remoto de control y monitoreo de la humedad del suelo en el valle de Pampas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- A.-**Determinar cuál es la humedad óptima en la raíz para el desarrollo del maíz en el valle de Pampas.
- B.-**Diseñar y construir un módulo de monitoreo y control remoto que permita reducir el consumo de agua en un sistema de riego por goteo de un cultivo de maíz.
- C.-**Establecer enlace inalámbrico entre la "Unidad de monitoreo y control" y la "Unidad de supervisión remota", del sistema de control de humedad en el cultivo de maíz.
- D.-**Evaluar el funcionamiento integral del sistema en la reducción del consumo de agua en un sistema de riego por goteo de un cultivo de maíz en el valle de Pampas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. CIENTÍFICA

Uso del Software Electrónico LabVIEW para configurar una red LAN, que pueda controlar y monitorear remotamente sensores de tensión de humedad en la raíz de una planta de maíz y actuadores que regulen el flujo de agua para riego, sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar, con riego automatizado. Consolidará las ventajas de interfaces microprocesados con programación de bajo nivel genera soluciones de fácil manejo y entendible por el usuario; que estarán asociados a cada sensor de tensión de humedad y podrá mantener informado al personal encargado del control de la humedad. También confirmará la utilidad de los

sensores, en este caso tensiómetros que convierten la señal física de humedad a tensión.

1.4.2. ECONÓMICA

Al ser un Sistema Remoto de Monitoreo y Control para reducir el consumo de agua que requiere el maíz con riego por goteo, permitirá ampliar la extensión de terrenos de cultivo en periodos de ausencia de lluvia y mejorar la calidad de la producción agrícola; generará incremento económico en la población rural y promocionara la producción de granos andinos como el maíz.

Bajará la calidad de la producción al regar un terreno de cultivo mediante el método por riego por gravedad, debido a que la planta pasará por periodos muy largos de estrés hídrico, ya sea porque la raíz estará en un medio demasiado húmedo o demasiado seco.

1.4.3. TECNOLÓGICA

Se comprobará la utilidad de la tecnología de comunicación de redes LAN, del Software Electrónico LabVIEW y el uso de microcontroladores; También los sensores de tensión de humedad del suelo llamados tensiómetros y electroválvulas para controlar el flujo de agua en terrenos de cultivo con riego por goteo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO CONTROLADO Y AUTOMATIZADO PARA UVA ITALIA. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, José Carlos Cruz Concha, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú. Noviembre del 2009.⁵: La escasez y la inadecuada utilización de los recursos hídricos en el proceso de riego de los cultivos en general y específicamente el método de riego por inundación utilizado para las plantaciones de uva, generan mayores costos de producción a los medianos y pequeños agricultores del país. La cantidad de agua utilizada se puede reducir gracias a técnicas de riego tecnificado que nos permiten obtener control sobre la utilización de este recurso. El presente trabajo de investigación y desarrollo tiene por objetivo principal reducir la cantidad de agua utilizada en el proceso de riego de una chacra ubicada en sector Pampa de Ñoco distrito de Grocio Prado, provincia de Chíncha en el departamento de Ica. Se propone la solución mediante el diseño de un sistema de riego por goteo controlado y automatizado en base a un algoritmo de control desarrollado en un

5.J. Cruz. Diseño de un Sistema de Riego por Goteo Controlado y Automatizado para Uva Italia. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Católica del Perú: Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú. Noviembre del 2009.

microcontrolador y que responde a una estrategia de control que realiza una acción diferente para los 5 rangos de trabajo en los que se ha dividido la variable controlada (presión), por lo tanto el sistema realiza 5 acciones diferentes de acuerdo a la medición del sensor de presión.

El objetivo del sistema es medir la presión de vacío (variable controlada) ejercida dentro del sensor de presión, transformar la variable física en una señal eléctrica, la cual es acondicionada para la transmisión y posterior procesamiento de la información, una vez procesada, el controlador decide que acción realizar mediante la apertura y cierre de una válvula proporcional (actuador del sistema), ésta limita el flujo de agua (variable manipulada) que va a ser aplicada al campo de cultivo. Como interfaz para el usuario, se desarrolla un software de monitoreo basado en el programa LabVIEW, este permite visualizar la variable controlada del sistema en un ambiente amigable, se utiliza el estándar de comunicación RS 232 para la interacción entre el microcontrolador y el software de monitoreo, este programa se puede implementar sobre cualquier computador personal, no requiere de hardware especializado. Así pues el sistema integra elementos electrónicos con elementos comúnmente utilizados en cualquier proceso de riego como tuberías y mangueras.

Se logró diseñar e implementar el sensor de presión diferencial basado en la deformación de una galga extensiométrica debido a la presión ejercida; se diseña e implementa el amplificador de señal del transductor, basado en un arreglo de puente Wheatstone, que convierte dicha variable física en una señal eléctrica (voltaje), se diseña la etapa de conversión de voltaje a corriente en el estándar industrial de 4 a 20 mA para la transmisión de la señal hacia el microcontrolador, que por obvias razones debe estar alejado de los elementos de campo y alojado en un lugar que garantice el correcto funcionamiento del mismo distante de la humedad, exposición al sol, etc. Se realiza la implementación del algoritmo de control en el microcontrolador Atmega 8 de Atmel, se selecciona la válvula de control proporcional para el sistema, así como de los elementos accesorios del

mismo como mangueras, goteros, tuberías. Se desarrolla el software de monitoreo de la variable controlada como interfaz con el usuario.

2.1.2. MODELO PARA ESTIMAR EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE LA

HUMEDAD DEL SUELO. Inzunza-Ibarra, Marco A.; Villa-Castorena, Magdalena; Catalán-Valencia, Ernesto A.; Mendoza-Moreno, S. Felipe *TERRA*

***Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 179-185 Universidad Autónoma Chapingo México**⁶: El maíz para grano es el cultivo más importante

en México, ya que representa la base de la alimentación y cubre, en forma aproximada, 59 por ciento del área total cultivada. Sin embargo, se tiene una producción deficitaria porque de las 8.5 millones hectáreas sembradas en México,

7.5 millones se establecen en condiciones de temporal con un rendimiento medio de 1.5 t ha y únicamente un millón en condiciones de riego, con un rendimiento promedio de 3.5 t ha. Esta productividad se considera inferior a su potencial, ya que, de acuerdo con resultados de investigación, las variedades de maíz actuales son capaces de producir más de 10 t ha⁻¹ de grano. En la Comarca Lagunera, la superficie promedio sembrada con maíz en los últimos diez años fue de 35.400 ha, con un rendimiento medio de 2.32 t ha. Considerando el potencial del cultivo, así como la tecnología disponible, el maíz puede representar una alternativa rentable para el productor regional y contribuir para disminuir la dependencia alimentaria del extranjero. Para lograr esto, se requiere optimizar las diversas prácticas de manejo de los sistemas productivos entre las que destaca el riego, el cual debe ser aplicado en el momento oportuno y con la cantidad de agua necesaria para satisfacer el requerimiento para un rendimiento óptimo. Uno de los enfoques clásicos para optimizar el riego consiste en analizar la respuesta del cultivo a diferentes grados de estrés hídrico, como el contenido de humedad y el

6 . M. Inzunza, M. Villa-Castorena, E. Catalán-Valencia, S. Mendoza-Moreno. Modelo para Estimar el Rendimiento de Maíz en Función de la Humedad del Suelo. *Terra Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 179-185 Universidad Autónoma Chapingo México.

potencial mátrico del agua del suelo. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue obtener un modelo para estimar el rendimiento del maíz en función de la tensión de humedad del suelo en dos periodos de desarrollo de este cultivo.

Resumen: El objetivo de este estudio fue obtener un modelo matemático para estimar el rendimiento de grano del maíz en función del contenido de humedad del suelo en el momento del riego, expresado como la tensión de humedad o potencial mátrico del agua del suelo, en dos periodos de desarrollo del cultivo: desde la siembra hasta el inicio de la floración, y desde el inicio de la floración hasta la madurez fisiológica. La metodología consistió en inducir diferentes grados de abatimiento de la humedad disponible en el suelo durante cada uno de los periodos de desarrollo considerados. Los grados de abatimiento de la humedad del suelo para cada tratamiento se definieron con base en un diseño factorial incompleta de tratamientos utilizando la matriz cuadrado doble. Los resultados mostraron que el modelo lineal de segundo orden, o modelo cuadrático, fue el que mejor representó la relación entre el rendimiento de grano de maíz y la tensión de humedad en el momento del riego.

2.1.3. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE FLORES TIPO EXPORTACIÓN. Rodolfo Agudelo Dueñas, Dayanna Castellanos Giovanni, Mauricio Medina Cruz; Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica, Bogotá D. C. 2005: En Colombia los cultivos de flores constituyen una de las principales actividades que permiten el incremento de las exportaciones en el país, sin embargo, los avances tecnológicos en este sector son muy reducidos, lo que ha conllevado a una vinculación lenta de la automatización a los procesos que hacen parte de esta área. A medida que se incrementa la automatización, los procesos se han hecho más eficientes,

7. Agudelo, D. Castellanos, M. Medina; Automatización del Sistema de Riego para el Cultivo de Flores Tipo Exportación. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica, Bogotá D. C. 2005.

demandando sistemas de control que permitan supervisar las variables que intervienen en el mismo. Por lo anterior, diferentes cultivos de flores han enfocado sus líneas de inversión en adquirir sistemas de telecontrol, telemetría, software de aplicación, sensores y actuadores de mayor precisión, que permitan un control en las variables que intervienen en su producción de flores. Esta adquisición por lo general es de tecnología extranjera, lo cual incrementa el costo de inversión. La integración de todos estos aspectos introdujo entonces al diseño de un sistema de supervisión y control llamado IRRIGATION versión 1.0 (riego en idioma inglés).

Por otra parte, en los últimos años se ha dado un importante desarrollo en el diseño de sistemas de comunicaciones basados en la transmisión digital de datos haciendo uso de diferentes medios de propagación. Dada la tendencia mundial del acceso inmediato a la información en cualquier momento y lugar, las comunicaciones inalámbricas son tal vez una de las herramientas con mayor auge en la actualidad. Aprovechando las ventajas que brindan los avances tecnológicos en el área de las comunicaciones inalámbricas, se han desarrollado aplicaciones que permiten acceder a la información de manera oportuna y confiable. Esta es una alternativa que obedece a las necesidades y avances tecnológicos actuales en los que el uso de cables va poco a poco desapareciendo. Una de las características más importantes en un sistema de automatización inalámbrica es la confiabilidad que este requiere, el acceso a la variedad de datos que se manejan y la disponibilidad de los datos en el tiempo real.

Conclusiones: El sistema IRRIGATION versión 1.0 corresponde al desarrollo de un sistema de supervisión y control del riego de un invernadero por medio de una comunicación inalámbrica, eliminando la incomodidad de los cables para transmitir datos, pero aumentando el cableado para alimentación de los módulos así como los actuadores y cableado del sensor de humedad.

El sistema IRRIGATION versión 1.0 responde a la necesidad de controlar y supervisar variables de un terreno de gran tamaño, sin necesidad de recorrerlo de Lado a lado, evitando así la pérdida de tiempo o la utilización de mano de obra

innecesaria. Sin embargo, dado el desempeño logrado por estos módulos, la cobertura de cultivo solo se alcanzaría mediante la disposición de una red implementada con gran número de transmisores/receptores RF, algunos de los cuales solo cumplirán con la función de retransmitir paquetes de datos.

La comunicación I2C implementada garantiza una expansión de 256 módulos (esclavos), que permite que el sistema puede ser implementado en invernaderos de gran tamaño o adicionar otros periféricos que sean manejados por I2C. La respuesta total del sistema sería más lenta que en el caso de pocos dispositivos debido a que sería necesario cambiar el sistema de interrupciones a uno de poli generada por el módulo de estación remoto, con el fin de evitar interferencia entre tramas inalámbricas. La posibilidad de cambiar el canal de transmisión (entre 2.4 GHz y 2.524 Ghz) así como la asignación de una dirección de 40 bits permite un número virtualmente infinito de dispositivos RF.

2.1.4. DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA RIEGO DE CÉSPED DE JARDÍN EMPLEANDO UN SENSOR DE HUMEDAD DE SUELOS Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA. Varas Salazar, Zulema. Lima Perú, 2013⁸:

Hoy en día la automatización del riego del césped es importante porque favorece el ahorro de agua, conservación de nutrientes del suelo y el correcto desarrollo del césped. Los sistemas de automatización de riego comunes dependen mucho de la intervención de una persona que ingrese datos como los días y la duración del riego, por lo que sería conveniente que el usuario tenga conocimientos de jardinería, además debe ser instalado por personal experto; los sistemas de automatización por lo general consisten en un controlador PLC, tuberías de PVC, electroválvulas y aspersores, los costos son elevados, entre \$378 y \$1097. La presente tesis plantea una forma de automatización diferente, pues con el

8.Z. Varas. Diseño de un Sistema Electrónico para Riego de Césped de Jardín Empleando un Sensor de Humedad de Suelos y Comunicación Inalámbrica Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima Perú, 2013. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4510>.

hardware y el software desarrollado se podrá medir el nivel de humedad del césped e indicar en qué momento se debe iniciar y terminar el riego del suelo, según datos teóricos de agronomía. El sensor de humedad, utilizado en la presente tesis, utiliza la tecnología de Reflectometría de Dominios de Frecuencia (o FDR por sus siglas en inglés), son sensores muy utilizados en agroindustria y el concepto de esta tecnología se explica en el capítulo dos. Este tipo de sensor estima la variación de la constante dieléctrica del agua en el suelo mediante la emisión de ondas electromagnéticas, la cual depende de la cantidad de agua que contiene, la señal de salida del sensor es un voltaje que varía casi directamente proporcional con el agua contenida en el suelo; es decir a menos humedad el sensor da menos voltaje, a mas humedad, más voltaje. Esta señal es digitalizada y procesada por un microcontrolador, el cual toma decisiones y da órdenes según sea programado, y finalmente la orden se transmite inalámbricamente a una electroválvula conectada a aspersores. Los módulos de transmisión inalámbrica fueron escogidos en el diseño ya que el sistema está hecho para jardines grandes de más de 100m². Otra aplicación podría ser canchas de fútbol o campos de golf. Por lo general los jardines se riegan por inundación por lo cual se pierde agua debido a la evaporación y filtración en el suelo; si se utiliza más agua de lo requerido por el suelo de cultivo, entonces se pierde nutrientes innecesariamente y se afecta el desarrollo del césped. Por lo cual el sistema diseñado evita todos estos inconvenientes.

2.1.5. AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO CON EL PLC S7-200. José Luis Vázquez Minjares. David Alejandro Carrillo Reveles. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México 2009⁹: El presente trabajo de tesis tiene como principio automatizar los sistemas de temperatura,

9. D. Alejandro. J. Vázquez. Automatización de un Invernadero con el PLC S7-200. Tesis de Licenciatura presentada a la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México 2009.

10

humedad relativa, riego y humedad del suelo de un invernadero. Para éste se diseñó un prototipo a escala del invernadero que se encuentra en la Unidad Académica de Agronomía, para realizar pruebas para el mejoramiento de los sistemas y del censado de las diferentes variables que los conforman.

Uno de los principales objetivos de este trabajo fue el dar una solución práctica a los problemas que presentan los invernaderos semí automatizados. Específicamente se centró en los problemas que agravan el invernadero de agronomía, como el excesivo consumo de energía eléctrica, el mal censado de las principales variables así como el desperdicio de agua.

En esta tesis se utilizó el PLC S7-200, ya que con este se puede tener el control de todas las variables de manera simultánea, además de que tiene un fácil manejo. Con este PLC se puede controlar de manera precisa los sistemas ya que al utilizar sensores estos mandarían señales cuando se haya alterado alguna de las variables. Se utilizaron sensores adecuados para la medición de cada variable para el mejor desempeño del invernadero automatizado. Estos serán el medio por el cual el PLC tomará las decisiones para activar los sistemas de acuerdo a las necesidades requeridas.

Para el control de temperatura y humedad relativa se utilizó la teoría del Razonamiento Aproximado, la cual es una parte introductoria del control difuso. Esto permite que estas dos variables interactúen en un solo control, ya que una está en función de otra.

2.1.6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE RIEGO PARA LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL – ESPOCH. Tesis de Grado. Presentado por: Carlos Gabriel EIBAR BEJARANO. Vinicio Luis SILVA ESCOBAR. Riobamba – Ecuador 2012¹⁰: Uno de los principales objetivos de este

10.C. Eibar, V. Silva. Diseño e Implementación de un Sistema Automático de Control de Riego para la Estación Experimental - ESPOCH. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador 2012. Tesis de Grado.

proyecto es solucionar los problemas que presentan los invernaderos para mantener las variables que intervienen en su climatización, controladas en forma permanente. Y en este caso específicamente se centró en solucionar las dificultades que enfrenta el Centro Experimental de Riego, que al ser Investigativo y tener que variar factores como Temperatura, riego y Humedad, en rangos que pueden salirse de lo habitual, de acuerdo a la investigación que se requiera.

Los resultados obtenidos por medio de los datos registrados a través del LOGO! en el desarrollo del proyecto, nos muestran una eficiencia del 90% en el mantenimiento de la humedad del suelo dentro del invernadero, todo esto de acuerdo a los parámetros establecidos por el usuario.

Se ha optado en este proyecto por realizar el control de la automatización del invernadero con la ayuda de un Controlador Lógico Programable, el cual nos permitirá poder obtener las lecturas de las variables involucradas en el proceso a través de sensores de temperatura y humedad, para poder controlar las válvulas de riego y los contactores que se encargaran del cambio de giro del motor para las ventanas.

2.1.7. DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA LOS LECHOS DE PRODUCCIÓN DE HUMUS DE LOMBRIZ EN LA EMPRESA BIOAGROTECSA CÍA. LTDA. Marco Xavier AILLÓN ABRIL. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Trabajo de Graduación. Ambato, Ecuador Noviembre del 2010¹¹: El presente estudio tiene por objeto diseñar un sistema de supervisión, control y adquisición de variables físicas como temperatura y humedad en cada uno de los lechos de compostaje de humus de

11. M. Aillón. Diseño de un Sistema Scada de Control Automático de Temperatura y Humedad para los Lechos de Producción de Humus de Lombriz en la Empresa Bioagrotecsa Cía. Ltda. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Trabajo de Graduación. Ambato, Ecuador. Noviembre del 2010.

lombriz en la empresa BIOAGROTECSA CÍA. LTDA. Con el fin de tecnificar su producción.

Para ello se ha investigado detalladamente las características técnicas, costos y requerimientos de cada una de las tecnologías disponibles que se podían utilizar en este tipo de automatización. Tomando como alternativa para el diseño el uso de microcontroladores, ya que brindan gran control, flexibilidad y sus precios son relativamente bajos en comparación a otros dispositivos.

A continuación se ha realizado el análisis y diseño de los dispositivos que iban a formar parte de este sistema, en este caso sensores de temperatura, sensores de humedad, actuadores, unidades terminales e interfaz gráfico de usuario. En el diseño de los circuitos electrónicos se ha tomado en cuenta las características técnicas de funcionamiento de cada uno de los elementos que se han utilizado. Así mismo, el entorno gráfico de usuario debía ser fácil de comprender, con instrucciones sencillas y específicas para cada uno de los procesos y ordenes que desee ejecutar el operador. Para finalizar se ha elaborado un análisis de costos y requerimientos del sistema, así como también un análisis de costo-beneficio del proyecto. Como resultado de estos estudios, se determina que este proyecto es factible debido a que el costo es acorde a la realidad de la empresa y sería beneficiada en gran parte, ya que no solamente se lograría tecnificar la producción, sino también ofrecería otras ventajas, tales como la optimización de los recursos que se emplean en la producción de humus de lombriz.

2.1.8. DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICA PARA UN ÁREA DE CULTIVO FRUTÍCOLA EN UNA ONG. Huapaya Silva, Fernando Edison. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 2011¹²: Los sistemas de información que se usan en la agricultura peruana, para

12.F. Huapaya. Diseño de una Red de Sensores Inalámbrica para un Área de Cultivo Frutícola en una ONG. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima Perú 2011. URL: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1087>.

obtener medidas de temperatura y humedad son empíricos, ello se basan en la experiencia de los trabajadores. En ese contexto una red de sensores inalámbrica, en la que un equipo remoto pueda transmitir medidas de humedad ambiental, temperatura ambiental, luz ambiental, la temperatura y humedad del suelo, en tiempo real a una estación central, tendría un papel importante en el rendimiento de la producción ya que se tendría un monitoreo del área de cultivo, se podrá obtener como responde los cultivos frente al clima cómo también una curva del punto de marchitez y capacidad de campo, lo que dará un mejor cuidado al cultivo de frutas y se optimizaría el uso de recursos naturales como el agua . Los medios de acceso de información que poseen los agricultores son limitados, pues la tecnología no se encuentra desarrollada en ese medio. Por ello dado que en la ONG, el proceso de producción del cultivo de frutas, se basa en tecnologías de información empírica, limita el rendimiento de la producción y el uso de recursos como el agua proveniente del sistema de riego por goteo. Entonces el diseño de una red de sensores inalámbricos para el cultivo de frutas, permitirá la transmisión de variables como la humedad, temperatura, luz del ambiente, la temperatura y humedad del suelo, la muestra de datos serán enviados inalámbricamente por radio frecuencia hacia la estación base de la ONG, con la información recaudada se podrá estudiar cómo responden los cultivos de frutas frente al clima y determinar su punto de marchitez y capacidad de campo. La investigación está desarrollada en cuatro capítulos. En el primer capítulo se analiza la problemática que envuelve el sistema de información empírico con el que cuenta la ONG. En el segundo capítulo, se muestra las tecnologías de la información aplicadas en la agricultura y se define los conceptos base, los cuales ayudarán a modelar teóricamente la solución planteada. En el tercer capítulo, se muestra la metodología y procedimiento seguido para diseño de la red de sensores inalámbricos. En el cuarto capítulo se presenta el área cultivo para el diseño de la red de sensores inalámbrica, la topología lógica de la red y la inversión que debe realizarse para poder implementarla. Como conclusión principal de la presente

investigación, se obtiene el diseño de una red de sensores encaja de manera ideal a la monitorización ambiental, ya que las variables a ser monitorizadas como la temperatura ambiental, humedad ambiental, luz ambiental, temperatura y humedad del suelo servirán para estudiar cómo responde el cultivo de frutas frente al clima y jugará un rol estratégico en los procesos de modernización de la empresa agropecuaria, ya que la incorporación del diseño de la red de sensores inalámbricos agrega capacidades de control de la gestión y da acceso a información clave para la toma de decisiones.

2.1.9. AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO EN SUSTRATOS. Ríos González, Pedro.

Colegio de Postgraduados Texcoco, estado de México, México 2010¹³: En México existe la necesidad de desarrollar tecnología de bajo costo para sistemas de producción agrícola por tal razón, se desarrolló un sistema de riego automatizado para sustratos, que controla la frecuencia de riego a partir de los requerimientos de la especie y naturaleza del sustrato. Se realizó la caracterización física de los sustratos y se diseñó un sustrato (mezcla) con el método de Zamora (2005). Se seleccionó el sensor de humedad ECHO EC5 por su baja respuesta a la conductividad eléctrica y se obtuvo la función de ajuste del contenido de humedad y la señal del sensor. El sistema de riego se integró por: un sistema electrónico de adquisición de datos y control (microcontrolador PIC18F4550), computadora personal, interfaz de usuario (PicWinC), base de datos en MySQL, sensor de humedad, módulo de potencia para encender/apagar los dispositivos (bomba y electroválvula), contactor y sistema de riego. Las pruebas del sistema de control de riego por goteo en sustratos se hicieron bajo condiciones de invernadero, en macetas y sin cultivo, en dos ensayos (días 13 y 26 de abril del 2010). El primero en agrolita y el segundo, con una mezcla al 50% en v/v de tezontle y fibra de coco, donde se controló el nivel de humedad en el rango de agua fácilmente disponible.

13. P. Ríos. Automatización del Riego en Sustratos. Colegio de Postgraduados Texcoco, Estado de México, México 2010.

Los resultados indican que cada sustrato presenta características físicas propias, que retienen diferentes cantidades de humedad a diferentes tensiones. Sin embargo, el sistema que se desarrolló es capaz de auto regular los niveles de humedad que se deseen y los sensores se pueden calibrar con sólo registrar el dato de respuesta en el aire y agua (con una conductividad eléctrica menor a 2.7 ms/cm).

2.1.10. PROTOTIPO DE RED DE SENSORES DE TEMPERATURA, UTILIZANDO MÓDULOS XBEE, PARA CONTROL DE INCENDIOS. Pedro Canché Martín, Mario Marín Montoya. Universidad del Caribe Cancún, Quintana Roo México.

3 de diciembre de 2010¹⁴: En este trabajo se crea un prototipo de red de sensores de temperatura, usando módulos de RF XBee y microprocesadores, integrados en dispositivos de bajo consumo y de baja transferencia de datos. El estado mexicano de Quintana Roo, ubicado en la península de Yucatán con una superficie aproximada de 10.200 km²; el 90% de su superficie está cubierto por la selva y el restante 10% por manglar. Las selvas en Quintana Roo año con año se ven amenazados por los incendios, debido a factores meteorológicos como los causados por rayos, la aridez del terreno y por su puesto los descuidos humanos. Los factores meteorológicos condicionan de una forma decisiva el nivel de riesgo del incendio, por ejemplo, las condiciones críticas de altas temperaturas o viento fuerte, aumentan la posibilidad de incendio forestal y propagarlos con suma facilidad.

Lo incendios forestales muchas veces al no ser detectados a tiempo, se propagan, causando áreas incendiadas más grandes, como en el 2005 con 53.619 hectáreas incendiadas; siendo ese año como el peor de la década, según estadísticas de [1]. Para la detección de los incendios se utilizan diversos medios de detección: Detección terrestre fija, detección terrestre móvil, Detección Aérea,

14.P. Canché, M. Marín. Prototipo de Red de Sensores de Temperatura, Utilizando Módulos Xbee, para Control de Incendios. Universidad del Caribe Cancún, Quintana Roo, México, diciembre de 2010.

Detección satelital y Detección de puntos de calor. Sin embargo esta última es costosa, debido a que se usa recursos tecnológicos del extranjero, por lo que falta tecnología menos costosa de origen mexicano que representen una valiosa ayuda en la preservación de extensiones de selvas y fauna endémica de la región, así como el impacto producido directamente, no solo en un estado o región, sino a nivel mundial. Por lo descrito anteriormente, se propone construir un prototipo de red de sensores inalámbricos, basados en un microcontrolador, sensor de temperatura y módulos de Radio Frecuencia (RF) de bajo consumo, con baja tasa de envío de datos y maximizando la vida útil de sus baterías.

Conclusiones: Se corroboró la factibilidad de la implementación Prototipo de red de sensores de temperatura, utilizando módulos Xbee, para la adquisición de datos de temperatura. Los resultados obtenidos tienen una mayor eficiencia debido a que pueden ser leídos desde cualquier, utilizando un explorador de internet, sin la necesidad de estar presente en el lugar donde son generados los datos.

Con las pruebas realizadas, se pudo comprobar que el uso de aparatos de enlace inalámbricos o de microondas no afectó el desempeño del prototipo, pues no presentó pérdidas de datos o señal. Una vez construido el prototipo, se puede concluir que los microcontroladores y los Xbee son dispositivos muy sencillos, cuyas dimensiones, potencia y costos reducidos, sientan la base para otros proyectos similares, usando módulos de RF.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. TENSIÓN O LA SUCCIÓN DEL AGUA DEL SUELO²

El tensiómetro mide la tensión o la succión del agua del suelo. Este instrumento consiste de un tubo de plástico lleno de agua y herméticamente cerrado, equipado con un manómetro de vacío en la parte superior y una capsula de cerámica porosa en el extremo inferior (Figura N° 2.1). El agua se mueve desde el tubo del tensiómetro a través de la capsula de cerámica hacia el suelo en

respuesta a la succión del agua del suelo (cuando el agua se evapora del suelo o cuando la planta extrae agua del suelo). El agua también se puede mover desde el suelo al tensiómetro durante el riego. A medida que el tensiómetro pierde agua, se genera un vacío en el tubo y éste es registrado por el manómetro. La mayoría de los tensiómetros tienen un manómetro graduado de 0 a 100 (centibars, cb, o kilo pascuales, kPa). Una lectura de 0 indica un suelo saturado con agua. Conforme el suelo se seca, la lectura en el medidor aumenta. El límite funcional del tensiómetro es de aproximadamente 80 cb. Más allá de esta tensión, el aire entra a través de la cápsula de cerámica y provoca la falla del instrumento. Por lo tanto, estos instrumentos son más prácticos en suelos arenosos y con cultivos sensibles a la sequía, ya que éstos tienen un rango de manejo de la humedad del suelo menos amplio. Durante el riego, el agua retorna al tensiómetro y la lectura del manómetro se aproxima a 0. Algunos tensiómetros están equipados con pequeñas reservas de agua para reemplazar esta agua y reducir el mantenimiento requerido.

Instalación y lectura: Antes de instalar el tensiómetro, se debe mojar el instrumento en un recipiente con agua durante 2 ó 3 días. Luego se deben dar los siguientes pasos:

- 1.- Saturar el filtro de cerámica con agua para eliminar cualquier burbuja de Aire.
- 2.- Llenar el tubo con agua destilada, coloreada y tratada con alguicida; Remover las burbujas de aire (del tubo y del manómetro de vacío) golpeando suavemente la parte superior del tensiómetro.
- 3.- Vaciar el aire del tubo del tensiómetro con una bomba manual de vacío hasta que el manómetro indique una lectura de 80-85.
- 4.- Sellar la tapa adecuadamente.
- 5.- Comprobar que la lectura que se obtiene en el manómetro cuando la punta del tensiómetro se sumerja en agua indique 0 centibars.
- 6.- Instalar el tensiómetro cuidando que la cápsula de cerámica esté a la profundidad de la zona de raíces del suelo. Se necesitan dos tensiómetros en cada sitio (Figura N°2.1, Tabla N°2.1 y Tabla N°2.2). Para cultivos con raíces superficiales tales como las hortalizas, se debe instalar un tensiómetro a 6 pulgadas y otro a 12 pulgadas de profundidad. Para cultivos con raíces más

profundas, se debe instalar un tensiómetro a 12 pulgadas y otro a 24 o a 36 pulgadas. 7.-Usar una broca de 7/8 o que tenga el mismo diámetro que el tubo del tensiómetro para perforar un agujero a la profundidad deseada (menos la altura del extremo de la cerámica). Termine el agujero inicial con una sonda de diámetro más pequeño y empuje el tensiómetro para colocarlo en el lugar. La precisión de la lectura depende del buen contacto del dispositivo con el suelo. 8.- Tape bien el agujero y vierta agua alrededor del tensiómetro para mejorar su contacto con el suelo, acumule de 3 a 4 pulgadas de tierra alrededor del tubo. También se puede rellenar el agujero con lodo del mismo suelo, vertiéndolo dentro del agujero antes de colocar el tensiómetro.

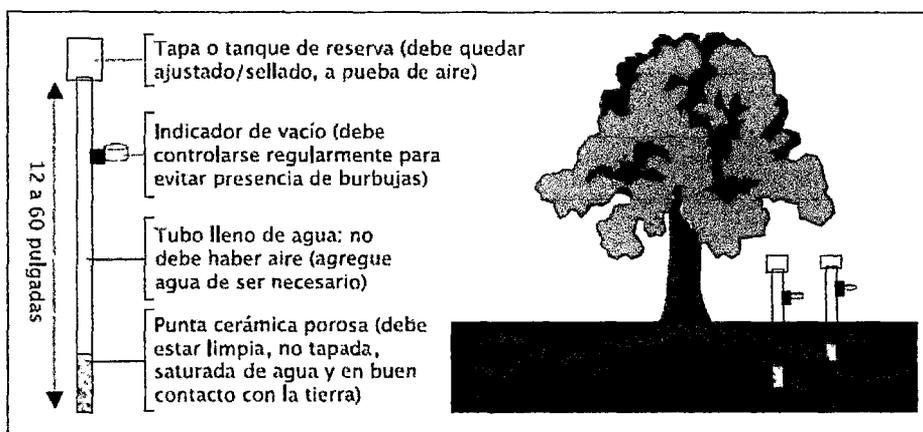


Figura N°2.1, Sensores de tensión.

PROFUNDIDAD DE TENSÍOMETRO ¹⁵ (cm.)		
Tipo de Maíz	Superficial	Profundidad
Maíz Dulce	30	75
Maíz de Campo	45	90

Tabla N°2.1.- Profundidad de tensiómetro.

15.M. Goyal, J. Santaella y L. Rivera. Manejo de Riego Por Goteo; Capítulo V: El Tensiómetro: Su Uso, Instalación y Mantenimiento. , Universidad de Puerto Rico. Mayagüez, Puerto Rico. Consultado el 08-02-2013 en http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap05tensiómetro.pdf.

PROFUNDIDAD RECOMENDADA ¹⁶ (cm.)		
Cultivos	Superficial	Profundo
Aguacate, albaricoquero, ciruelo, kiwi, manzano.	30	60
Almendra, olivo, viña	45	90
Alcachofa, berenjena, col, coliflor, granos, maíz,	30	60
Clavel, fresa, lechuga	15	30
Alfalfa, algodón, industriales	30	60

Tabla N°2.2.- Profundidad recomendada del tensiómetro.

2.2.2. RIEGO CONTROLADO POR LAZO ABIERTO O LAZO CERRADO¹⁷

Se define el riego como el aporte artificial de agua a la tierra, con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. Se complementa esta definición, al considerar que el riego sigue los siguientes objetivos: compensar deficiencias de humedad en el suelo, mejorar las condiciones ambientales del suelo y el cultivo, y aplicar nutrientes y medios protectores.

Para que el riego sea eficiente, uno de los factores más importantes es la correcta programación del mismo. La programación del riego corresponde al conjunto de procedimientos técnicos que permiten decidir cuándo y cuánto regar. La primera pregunta define el periodo de riego, esto es el tiempo transcurrido entre el inicio de dos riegos consecutivos, y la segunda pregunta implica definir la dosis o lámina a aplicar, es decir la cantidad de agua que el sistema de riego deberá suministrar en cada periodo. Existen distintos métodos para determinar la programación del riego, generalmente están basados en la medición o estimación de variables ambientales (temperatura, presión, radiación solar, dirección y velocidad del viento, estimación de la evapotranspiración), monitoreo en el crecimiento y desarrollo del cultivo o fitomonitorio (tamaño del fruto, tamaño del tallo, flujo de savia, índice de estrés hídrico), y/o la medición de variables en el

16. Irrometer Company. Tensiometro Irrometer: De baja tensión para medir humedad InfoagroSystems, Madrid, España. Consultado el 07-02-2013 en http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=6439&_tensiometro_de_baja_tension_para_medir_la_humedad_en_sustrato_turba_compost_tienda_on_line.

17. F. Capraro, S. Tosetti, D. Patiño, C. Schugurensky, F. Vita, R. Fullana, P. Campillo; Ambiente de Simulación, Monitoreo y Control Remoto de un Sistema de Riego por Goteo; Instituto de Automática (INAUT) - Universidad Nacional de San Juan; San Juan. Argentina. 2009.

suelo. La programación del riego es efectuada a campo mediante la utilización de un controlador de riego. La estructura del controlador pueden diferenciarse entre: (i) lazo abierto (Figura N°2.2) o (ii) lazo cerrado (Figura N°2.3). En los sistemas de riego presurizado, como lo es el riego por goteo o con micro-aspersores, la acción de control consiste en abrir y cerrar una válvula solenoides que permiten la circulación o corte de agua respectivamente. Las válvulas de riego son comandadas a distancia de manera eléctrica o hidráulica.

Control de riego a lazo abierto: Comercialmente es muy común encontrar controladores de riego a lazo abierto, denominados *temporizadores de riego*. Son dispositivos mecánicos o electrónicos que aplican dosis de riego iguales en periodos de tiempo constantes. La principal desventaja que presentan estos sistemas radica al momento de determinar la programación, ya que la misma está basada sobre predicciones indirectas del consumo de agua por el cultivo. Cualquier variación diaria de las condiciones ambientales que modifique el consumo de agua de la planta no son consideradas por el controlador, por lo tanto pueden ocurrir situaciones momentáneas de exceso o déficit de agua. Otra desventaja es la dificultad de implementar estrategias de riego deficitario controlado, debido a la imposibilidad de ajustar en forma precisa las dosis de riego para los diferentes niveles hídricos deseados.

Control de riego a lazo cerrado: También conocido como control realimentado, el controlador determina el próximo periodo y dosis en función de la medición de una o más variables involucradas en el sistema suelo-planta-atmósfera. Según se presenta en la Figura N°2.3, el controlador de riego es capaz de monitorear de forma continua los niveles de humedad del suelo y ajustar el suministro de agua en periodos cortos y aplicaciones muy diferentes a fin de mantener constante el nivel de humedad. Las necesidades de riego serán medidas a intervalos frecuentes pero el agua solo será aplicada cuando el controlador de riego lo indique a fin de mantener la humedad cercana al valor de referencia.

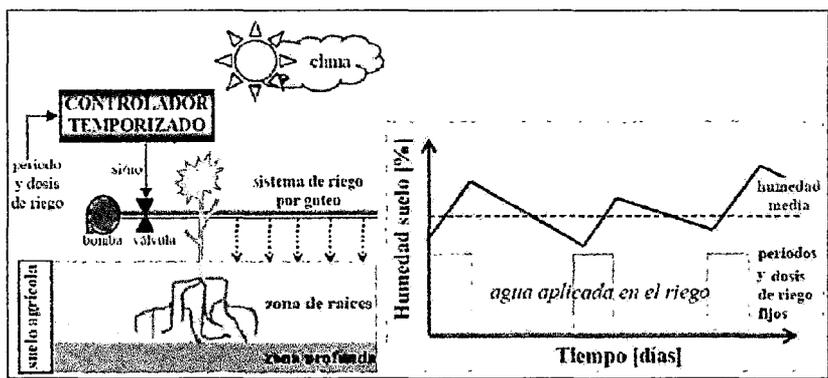


Figura N°2.2.- Controlador en lazo abierto.

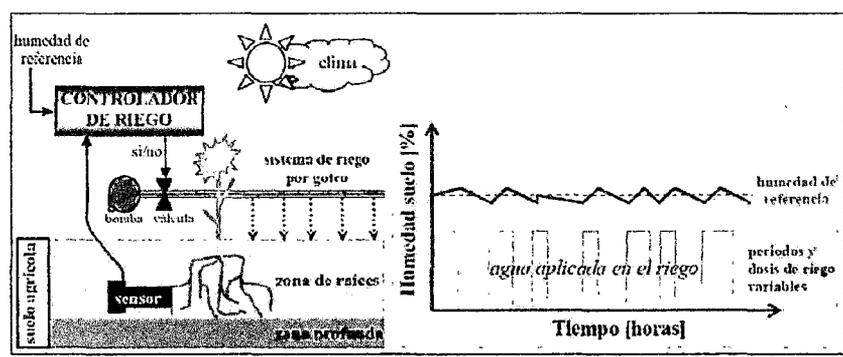


Figura N°2.3.- Controlador en lazo cerrado.

2.2.3. EFICIENCIA DEL RIEGO¹⁸

Del volumen total de agua destinada a riego que sale de un punto de suministro (p.e. embalse o pozo) no todo va a ser aprovechado por las plantas, sino que parte no llegará a su destino por diversas causas. La relación entre estas dos cantidades de agua (la que sale del punto de suministro y la que realmente aprovechan las plantas) es lo que se denomina eficiencia de aplicación. Se expresa mediante un porcentaje. Una eficiencia del 75% indica que del total del agua bombeada por un pozo sólo el 75% la tomarían las plantas y el 25% restante tendría destinos diferentes. En el proceso de riego, las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos:

¹⁸A. Lop, C. Peiteado. Curso de riego para agricultores: Proyecto de autogestión del agua en la agricultura. WWF (WorldWildlifeFundforNature – Fondo Mundial para la Naturaleza). Marzo 2005.

1. Pérdidas de transporte. Son las habidas en las conducciones, desde el punto de suministro hasta la parcela de riego. Aquí se incluyen desde las fugas en tuberías y canales hasta la evaporación en el caso de las conducciones abiertas.

2. Pérdidas de aplicación. Engloba a todas las que tienen su origen en la instalación dentro de la parcela de riego. Cabe mencionar tanto las fugas de tuberías como la evaporación que, bajo condiciones de viento y altas temperaturas, tiene lugar en el chorro de los emisores, en las hojas mojadas del cultivo.

3. Pérdidas en el suelo. Una vez en el suelo, el agua puede escurrir al superarse su capacidad de infiltración o al encontrarse saturado, e incluso escapar de la profundidad de acción de las raíces percolando a capas profundas. Al igual que ocurre con la uniformidad, la eficiencia de aplicación es una característica propia de cada instalación. En la eficiencia se incluye el diseño de la instalación, su mantenimiento y su manejo, siendo más fácil conseguir altas eficiencias de aplicación con unos sistemas de riego que con otros (Tabla N°2.3).

Sistema de riego	Eficiencia
Goteo	85-95%
Aspersión	65-85%
Gravedad	30-70%

Tabla N°2.3.- Eficiencia de los sistemas de riego¹⁸

El riego tecnificado tiene la ventaja de ahorrar entre un 40% a 60 % de agua, al permitir que ésta llegue a la planta en la cantidad necesaria y en el momento indicado⁵. El suelo se asemeja a un depósito del cual las plantas se van nutriendo en función de sus necesidades. Pero no se suele encontrar ni homogéneamente distribuida ni libremente disponible. Para poder absorberla las raíces deben:

1. Localizar el agua.
2. Hacer un esfuerzo de succión para extraerla de los poros del suelo.

No todas las plantas tienen la misma habilidad para realizar estas dos tareas:

1. En primer lugar, existen diferencias importantes entre la capacidad de las raíces para explorar el suelo: las raíces poco densas de una cebolla rara vez llegan más allá de 30 cm, mientras que una remolacha con raíces muy ramificadas puede llegar a varios metros de profundidad.
2. Adicionalmente, el esfuerzo necesario para succionar el agua no repercute de igual forma en la productividad de la planta. Cuando el agua es abundante la presión de succión necesaria para tomarlo es baja (30.39centibar), pero a medida que se agota el agua esta presión va aumentando. Cuando alcanza entre 98.70 centibar, para algunas plantas como el melón o el pimiento el esfuerzo es muy grande, haciéndoles padecer y disminuir su capacidad productiva, en tanto que otras, como la cebada o la vid, pueden soportarlo sin problemas.

2.2.4. INSTRUMENTO VIRTUAL¹⁹

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica. Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Por este motivo los programas creados en LabVIEW se guardarán en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual (Virtual Instruments). También relacionado con este concepto se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc. y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que

¹⁹J. Alborno, P. Lagos. Guía de Iniciación en LabView 7.1. Universidad de la Frontera. Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración: Departamento de Ingeniería Eléctrica. Chile: Temuco, 2008.

Se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla. National Instruments es la empresa desarrolladora y propietaria de LabVIEW, comenzó en 1976 en Austin, Texas y sus primeros productos eran dispositivos para el bus de instrumentación GPIB. En abril de 1983 comenzó el desarrollo de lo que sería su producto estrella: LabVIEW, que vería la luz en octubre de 1986 con el lanzamiento de LabVIEW 1.0 para Macintosh (los ordenadores más populares en aquella época que ya disponían de interfaz gráfica) y en 1990 la versión 2.0. Para Windows habría que esperar hasta septiembre de 1992.

LabVIEW es un revolucionario ambiente de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones y presentaciones de datos. LabView da la flexibilidad de un poderoso ambiente de programación sin la complejidad de los ambientes tradicionales. A diferencia de los lenguajes de propósito general, LabVIEW provee funcionalidad específica para que pueda acelerar el desarrollo de aplicaciones de medición, control y automatización. LabVIEW le entrega herramientas poderosas para crear aplicaciones sin líneas de texto de código. Con LabVIEW usted coloca objetos ya contruidos para rápidamente crear interfaces de usuario. Después usted especifica la funcionalidad del sistema armando diagramas de bloques.

Además usted puede conectar con otras aplicaciones y compartir datos a través de ActiveX, la Web, DLLs, librerías compartidas, SQL, TCP/IP, XML, OPC y otros. Con LabVIEW puede desarrollar sistemas que cumplan con sus requerimientos de desempeño a través de las plataformas incluyendo Windows, Macintosh, UNIX o sistemas de tiempo real. Además LabVIEW trabaja con más de 1000 librerías de instrumentos de cientos de fabricantes, y muchos fabricantes de dispositivos de medida incluyen también herramientas de LabVIEW con sus productos. Utilizando un sistema basado en LabVIEW, tiene acceso a sistemas de instrumentación completos con costos mucho más bajos que un único instrumento comercial.

2.2.5. REDES FLEXIBLES Y EXTENSIBLES DE BAJO COSTO²⁰.

Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Creado por Zigbee Alliance, una organización, teóricamente sin ánimo de lucro, de más de 200 grandes empresas (destacan Mitsubishi, Honeywell, Philips, Invensys, entre otras), muchas de ellas fabricantes de semiconductores. Zigbee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y, sobre todo, domóticos.

Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo así como también del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc.) El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente (tomando como ejemplo el caso de MaxStream, en la versión de 1mW de potencia) de 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256kbps. Una red Zigbee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta cantidad enorme de dispositivos. Entre las necesidades que satisface el módulo se encuentran:

- a. Bajo costo.
- b. Ultra-bajo consumo de potencia.
- c. Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- d. Instalación barata y simple.
- e. Redes flexibles y extensibles.

20. A. Oyarce, Revisada por: Paul Aguayo, E. Martín. Guía del Usuario XBEE Series 1. Ingeniería MCI Ltda. Santiago, Chile. www.olimex.cl. Revisión: Julio 20,2010.

El uso del protocolo Zigbee va desde reemplazar un cable por una comunicación serial inalámbrico, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, peer-to-peer (todos los nodos conectados entre sí) o redes complejas de sensores. Una conexión típica se muestra en la Figura N° 2.4, donde se observa que cada módulo Xbee posee algún tipo de sensor, el cual entrega los datos para ser enviados a través de la red a un Centro que administre la información.

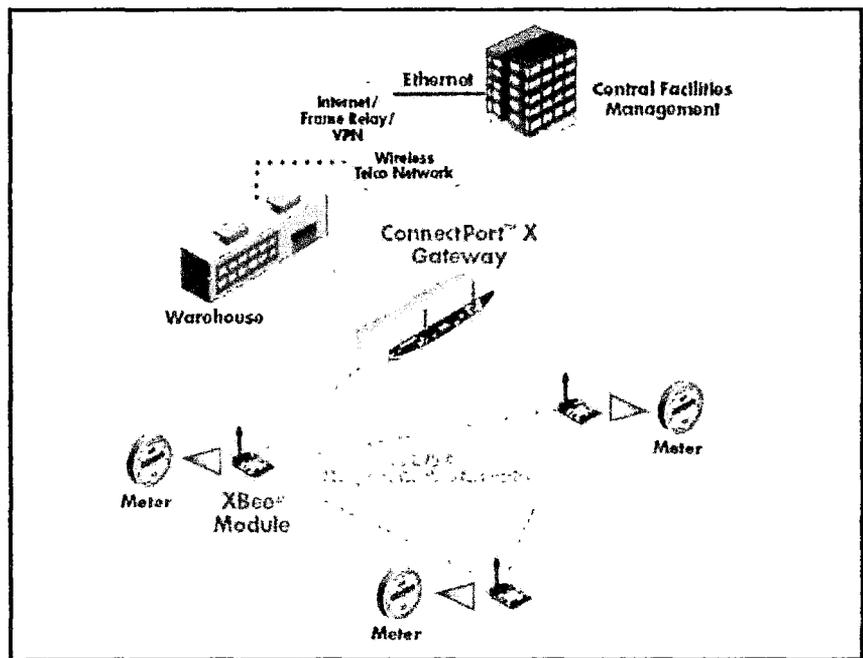


Figura N°2.4.- Conexión típica usando XBEE.

Una red Zigbee la forman básicamente 3 tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (EndPoints).

El Coordinador: Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y EndPoints. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router,

esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.

Los Routers: Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de Endpoints.

EndDevice: Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro en device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento

2.2.6. REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES²¹

El estándar IEEE 802.15.4 surgió debido a la escasez de estándares inalámbricos de baja tasa de transmisión para redes de sensores. Los estándares disponibles en el mercado (Wi-fi, WiMAX, Bluetooth) estaban orientados hacia aplicaciones con requerimientos de alto ancho de banda como puede ser redes locales, videoconferencia, etc. El inconveniente que surgía al utilizar cualquiera de los estándares antes mencionados era un gran consumo de energía y un gran ancho de banda utilizado frente a las bajas tasas de transmisión y bajos requerimientos de energía necesaria para las redes de sensores. En la Tabla N° 2.4 se puede observar una pequeña comparativa entre 802.15.4 y otros estándares como son Bluetooth, Wi-fi y el estándar ECMA/ISO de UWB (Ultra Wide Band).

En un principio, cada fabricante de nodos sensores optó por utilizar soluciones propietarias, dada la presión ejercida por el mercado, lo que trajo problemas de interoperabilidad entre los diversos fabricantes.

21. C. García. Impacto de la Seguridad en Redes Inalámbricas de Sensores IEEE 802.15.4. Máster en Investigación en Informática. Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid España 2010.

La industria entendió en su momento que hacía falta un nuevo estándar que aunara autonomía, envío de datos de baja capacidad (Kbps) y un bajo coste. Es por tanto con este objetivo por el que nacen tanto el estándar 802.15.4 como Zigbee. En concreto podemos definir Zigbee como una pila de protocolos que permite la comunicación de forma sencilla entre múltiples dispositivos. Zigbee especifica diversas capas, adecuándose al modelo OSI.

ESTÁNDARES	ANCHO DE BANDA	CONSUMO DE POTENCIA	VENTAJAS	APLICACIONES
Wi-fi	Hasta 54 Mbps	160 mA en reposo	Gran ancho de banda	Navegación por Internet, redes locales, transferencia de ficheros
Bluetooth	1 Mbps	22 mA en reposo	Interoperabilidad sustituto del cable	Wireless USB, móviles, informática doméstica
IEEE 802.15.4	250 Kbps	3 mA en reposo	Batería de larga duración, bajo costo	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores
UWB	100 Mbps	2 mA en reposo	Gran ancho banda de, bajo consumo	En proceso de estandarización

Tabla N°2.4.- Comparativa de estándares RF.

Las capas básicas, física y de control de acceso al medio están definidas por el estándar IEEE 802.15.4, LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Área Network). Este estándar fue diseñado pensando en la sencillez de la implementación y el bajo consumo, sin perder potencia ni posibilidades.

El estándar ZigBee amplía el estándar IEEE 802.15.4 aportando tanto una capa de red que gestiona las tareas de enrutado y de mantenimiento de los nodos de la red, como un entorno de aplicación que proporciona una subcapa que establece una interfaz para la capa de red y los objetos de los dispositivos tanto de ZigBee como del diseñador. Así pues, los estándares IEEE 802.15.4 y ZigBee se complementan proporcionando una pila completa de protocolos que permiten establecer comunicaciones entre multitud de dispositivos de una forma eficiente y sencilla.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Mediante el sistema remoto de control y monitoreo de la humedad del suelo se reduce el consumo promedio de agua en un 30% utilizado para el riego por goteo del cultivo de maíz en el valle de Pampas.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

A.- La humedad óptima en raíz para el desarrollo del maíz en el valle de Pampas se encuentra entre 45 y 75 centibar y depende del tiempo de desarrollo de la planta.

B.- Mediante un sistema electrónico supervisado desde LabVIEW es posible controlar y monitorear a distancia el funcionamiento del "Módulo de Monitoreo y Control" de la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo.

C.- Una red inalámbrica de sensores Xbee transmite adecuadamente los datos entre la "Unidad de Monitoreo y Control" y la "Unidad de Supervisión", para reducir el consumo de agua que requiere el maíz con riego por goteo.

D. El sistema de control y monitoreo remoto reduce eficientemente el consumo de agua en un sistema de riego por goteo de un cultivo de maíz en el valle de Pampas

2.4. VARIABLES DE ESTUDIO

2.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE:

A. Humedad en la raíz (HURA).- Es la presión que ejerce la raíz al tensiómetro pidiendo agua, es lo mismo que decir cantidad de agua que está presente en la tierra.

2.4.2.1. INDICADOR

H: Humedad del suelo (cbar)

2.4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES:

A. Sistema remoto de control y monitoreo.-Es todo el sistema que se encarga de controlar la alimentación de agua con lo cual se modifica la humedad del suelo donde se cultiva el maíz.

2.4.2.1. INDICADORES

Q_{WA} : Flujo volumétrico de alimentación de agua de riego ($\frac{L}{día}$)

T_R : Tiempo de retardo de respuesta (min)

MARCO CONCEPTUAL

HUMEDAD EN LA RAÍZ (HURA).- Es la presión que ejerce la raíz al tensiómetro pidiendo agua, es lo mismo que decir cantidad de agua que está presente en la tierra.

RETARDO DE RESPUESTA (RERE).- Es el tiempo que transcurre desde que se ordena cortar el flujo de agua hasta que el sensor de humedad detecta el cambio buscado. (Unidad = Minutos)

ERROR MÁXIMO (ERMA).- Es la máxima diferencia entre la Humedad Actual y la Humedad Programada (o Humedad Meta). (Unidad = Centibar)

2.6. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

Se detalla en la Tabla N° 2.5:

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	VARIABLES		INDICADORES
$H = f(Q_{WA}, T_R)$	Dependiente	Humedad en la raíz (HURA)	H(cbar)
	Independiente	Q_{WA} : Flujo volumétrico de alimentación de agua de riego ($\frac{L}{día}$)	$Q_{WA}(\frac{L}{día})$
		T_R : Tiempo de retardo de respuesta (min)	$T_R(\text{min})$

Tabla N° 2.5.- Variable dependiente e independientes.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio se realizó pensando en el potencial agrícola del lado norte de la ciudad de Pampas, conformado por un valle plano de aproximadamente 1Km por 6Km, donde en periodos de escasas de lluvias escasea el agua de riego. A lo largo del valle se desplaza el río Upamayo, que es pequeño, con poco caudal y en la parte alta de dicho valle no hay lagunas, por lo tanto siempre escaseará el agua para riego, el presente trabajo pretende aplicar la Electrónica para superar la falta de agua, incrementando la eficiencia en el consumo de agua.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es aplicada, debido a que utilizamos conocimientos de telecomunicaciones, circuitos digitales, sistemas de control y sistemas embebidos, empleando en el diseño y la construcción del sistema remoto de monitoreo y control, para incrementar la eficiencia en el riego de terrenos de cultivo en terrenos sobre los 3000 metros sobre el nivel del mar.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Se empleó el nivel Explicativo porque necesitamos evidenciar que el Sistema Remoto de Monitoreo de comunicación y control del acceso de personas, mejorala eficiencia en el uso de agua para riego por goteo, en el lado norte del valle del rio Upamayo.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1 MÉTODO GENERAL

Inductivo Deductivo y Ensayo Error.

3.4.2. MÉTODO ESPECÍFICO

Se empleó el método experimental de laboratorio, ya que se diseñó un modelo simulado para validar las hipótesis. Recién después lo implementamos basándonos en los resultados experimentales.

3.4.2.1. INDUCTIVO DEDUCTIVO

El Método "Inductivo" nos lleva de lo particular a lo general y el Método "Deductivo" nos lleva de lo general a lo particular. Primero buscamos toda la información necesaria para diseñar el "Sistema Remoto De Control Y Monitoreo de la Humedad del Suelo Para Reducir el Consumo de Agua del Maíz con Riego por Goteo en El Valle de Pampas", para mejorar la disponibilidad de agua de riego en la raíz del maíz se analizó que sucede cuando se reduce el margen de error ($\text{Error Máximo} = \text{Humedad Actual} - \text{Humedad Meta}$), porque la demasiada disponibilidad de agua hace daño a la planta y la falta de agua en la raíz produce un estrés en la planta, inducimos y/o deducimos: posibles diseños parciales, la elección de algoritmos y dispositivos electrónicos. Aplicando este método construimos los circuitos pensando que funcionarían bien pero muchas veces rediseñamos. Cuando el circuito o el algoritmo no funcionaban según lo

esperado, y de acuerdo a los resultados deducidos y/o inducidos, buscamos más información para nuevamente inducir y/o deducir nuevas soluciones, y así conseguiremos un funcionamiento óptimo. Primero aplicamos este método al diseño del Hardware y después al Software.

3.4.2.2. MÉTODOS ENSAYO ERROR

Utilizamos el método del "Ensayo Error". Consiste en probar una alternativa y verificar si funciona. Si es así, se tiene una solución. En caso contrario el resultado es erróneo y se intenta una nueva alternativa. Primero probamos el funcionamiento del Sistema Remoto de Monitoreo y Control del riego por goteo en un cultivo de maíz, corregiremos los errores en hardware y software, y probamos nuevamente hasta que llegó a funcionarasi correctamente; después de varios intentos y correcciones llegó a funcionar correctamente.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.- Consta de dos unidades, Unidad Remota (ubicada en donde se encuentra la raíz del maíz a regar, ver Figura N°3.1) y Unidad de Supervisión (en la Escuela Académico Profesional de Electrónica, ver Figura N°3.2).

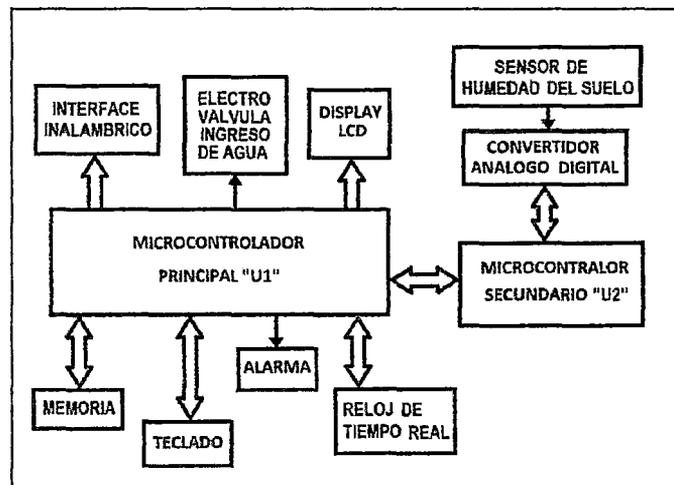
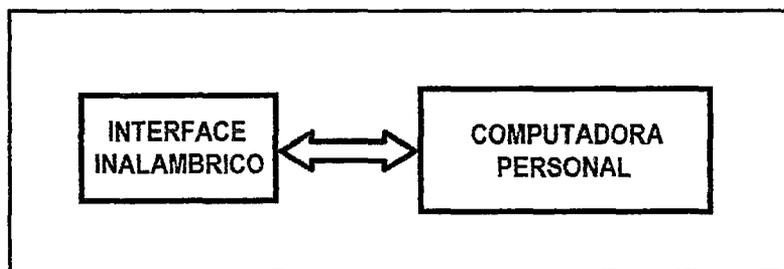


Figura N°3.1.- Unidad Remota.

El enlace entre estas unidades es inalámbrico. La Unidad Remota consta entre otros componentes de dos micro controladores, uno principal "U1" y otro secundario "U2"; la Unidad de Supervisión contiene principalmente una computadora personal.



FiguraN°3.2.- Unidad Supervisora.

3.5.1. UNIDAD REMOTA.- En la tarjeta del Módulo Remoto que se puede ver en la Figura N°3.3 no incluye el interface de comunicación inalámbrica, consta de dos microcontroladores PIC16F877²²: El primero ("U1") el microcontrolador principal, interactua un reloj de tiempo real DS3232, una memoria serial 24LC256 , un teclado de cuatro filas por cuatro columnas y un Display LCD de 2x16 caracteres LM016L; El segundo ("U2") el microcontrolador secundario interactua con el convertidor anulo digital serial MCP3204. Todos los componentes se comunican con protocolo de comunicación seria I²C, a excepcion del MCP3204, que se comunica mediante el protocolo PSI (Interface Serial Periferico). La memoria MCP3204 y el RTC DS3232, comparten el mismo puerto y el protocolo de comunicación serial. Las pistas en la tarjeta principal se puede ver en las Figuras N°3.4 (pista de cobre de arriba, de color rojo) y N°3.5 (pistas de cobre de bajo, de color azul), las pistas de cobre de arriba, se reemplazaron con cables de alambre solido de cobre cubierto con aislante para facilitar su construcción.

²².PIC-16F87XA Data Sheet 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers; DS39582B Microchip Technology Inc 2003. <http://www.microchip.com>.

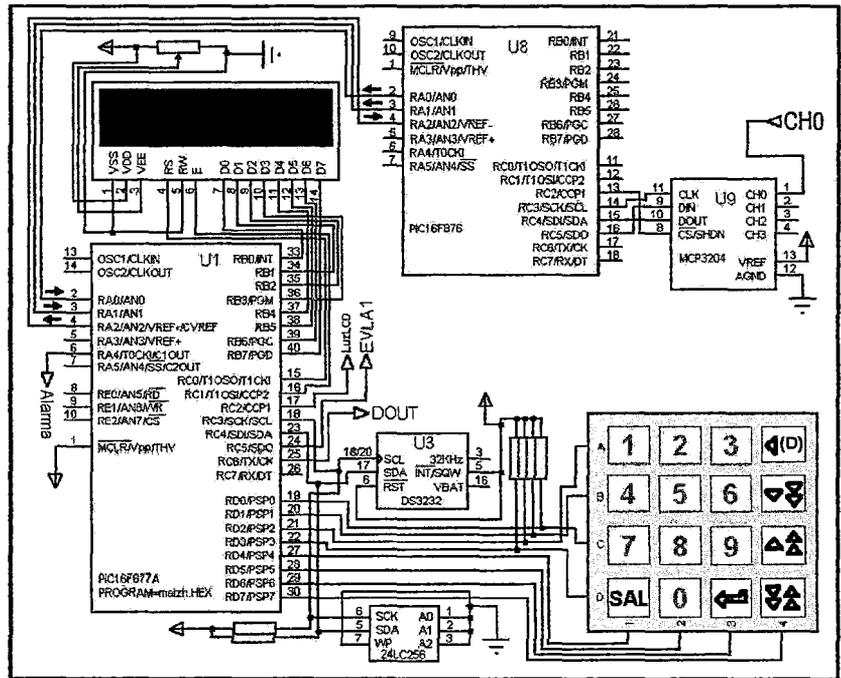


Figura N°3.3.- Módulo Remoto.

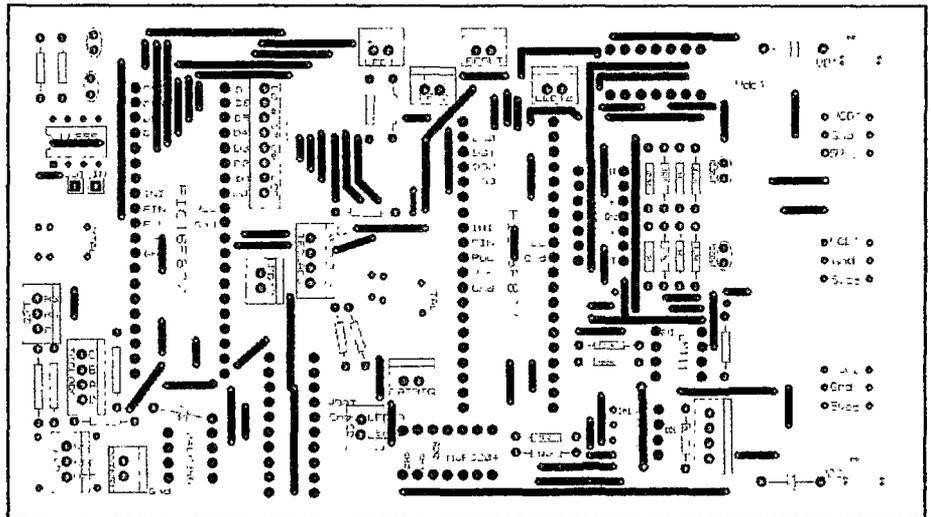


Figura N°3.4.- Pistas de cobre de arriba.

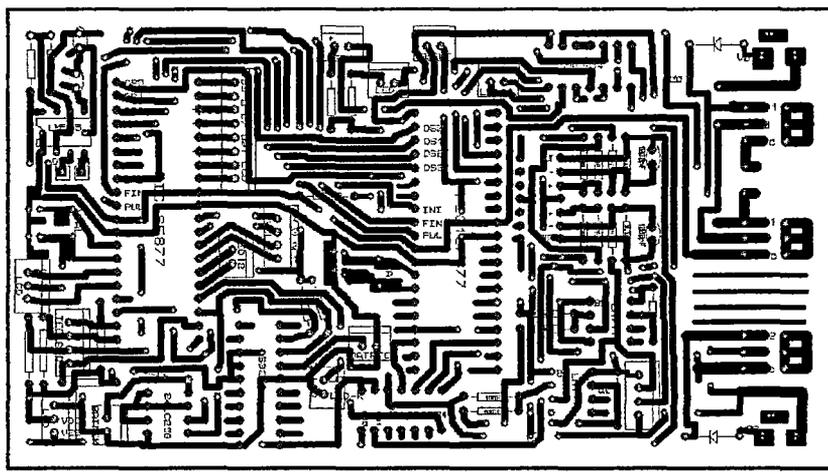


Figura N°3.5.- Pistas de cobre de abajo.

En el diagrama de flujo general del uC principal se puede ver en la Figura N°3.6, “?” significa que el usuario con ayuda del teclado, decide si entrar o no a la respectiva subrutina. La subrutina “PROGRAMAR” está compuesta por las siguientes tres subrutinas: “Programar Fecha”, “Programar Hora” y “Programar Humedad en la Raíz”; se ingresa mediante 2 claves la “Clave Publica” y la “Clave Privada”. El circuito en relación al uC principal se puede ver en la Figura N°3.7.

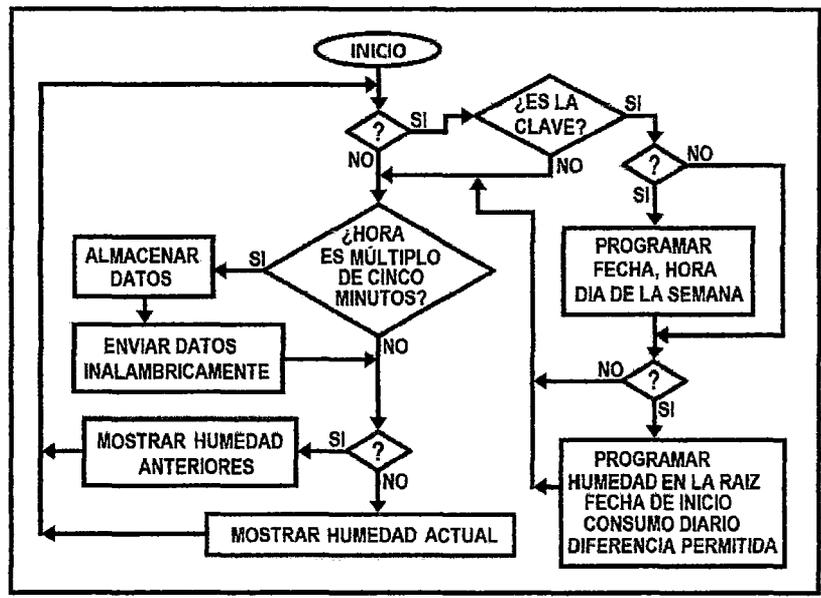


Figura N°3.6.- Diagrama de flujo del microcontrolador principal.

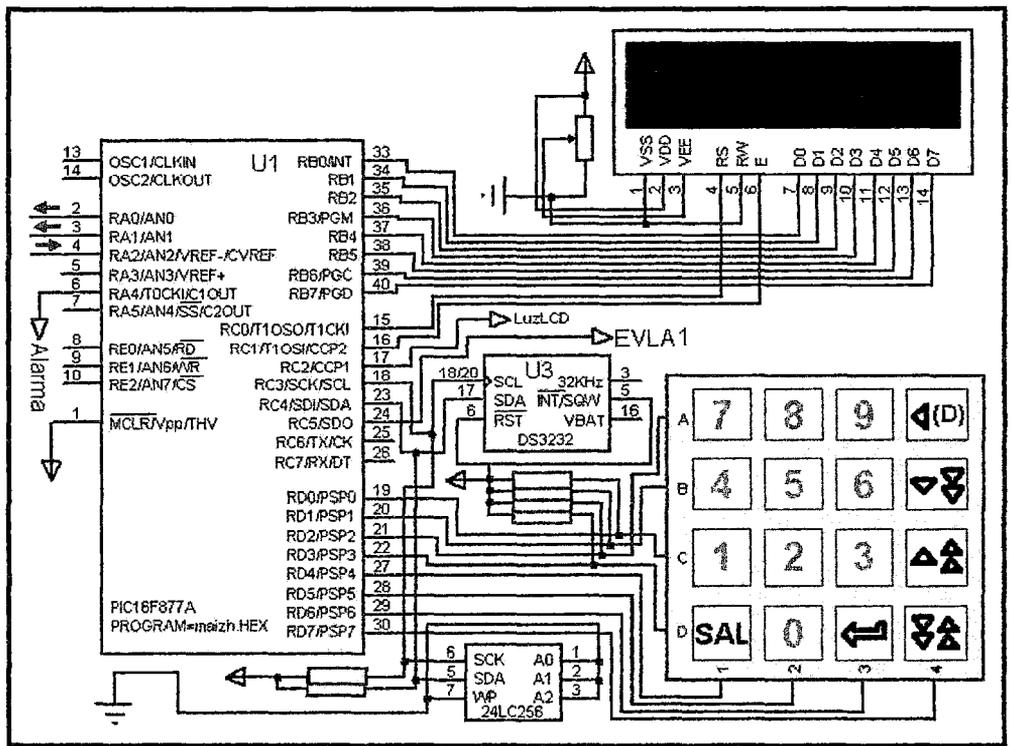


Figura N°3.7.- Entorno del Microcontrolador principal.

El teclado de cuatro columnas por cuatro filas, contiene las siguientes teclas, cuyos significados están detallados en la Tabla N°3.7, también se puede ver el código hexadecimal que generan y se almacena en el registro "REG", para realizar las funciones de control en el programa de la unidad remota.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	CODIGO HEXADECIMAL
◀(D)	BORRAR, DIFERENCIAS	0x0E
▶↔	AVANZAR	0x0D
◀↔	RETROCEDER	0x0C
↔↔	CAMBIAR VELOCIDAD	0x0F
↩	ENTRAR	0x0B
SAL	SALIR	0x0A

Tabla N°3.7.- Significado de teclas especiales.

3.5.2. LEER DATOS DEL CONVERTIDOR ANÁLOGO DIGITAL.-El Convertidor Análogo Digital es el MCP3204 de Microchip Technology Inc, de salida serial de doce bits con protocolo de comunicación Serial Peripheral Interface (SPI, en castellano seria Interface Periférico Serial), a 5 voltios de fuente de alimentación se obtiene una velocidad máxima de muestreo de 100 ksp/s²³(kilo muestras por segundo) y un mínimo de 50 ksp/s; recibe la señal analógica en voltaje del sensor de humedad del suelo (Tensiómetro IRRROMETER). En la Tabla N°3.2 se puede ver que la profundidad de la raíz del maíz² tiene un mínimo de 2.6 y un máximo de 6 pies, en promedio tiene 4.3 pulgadas que equivale a 131.064 centímetros, el sensor de temperatura debe estar ubicado a $\frac{3}{4}$ ¹⁵ partes de la raíz es decir $131.064/2 = 98.298$ centímetros.

Se eligió el tensiómetro IRRROMETER²⁴ de 90 centímetros modelo R-136 (ver Figura N°3.10), como referencia. A medida que el tensiómetro pierde agua, se genera un vacío en el tubo y éste es registrado por el manómetro. El tensiómetro elegido tienen un manómetro graduado de 0 a 100 (centibars, cb). Una lectura de 0 indica un suelo saturado. Conforme el suelo se seca, la lectura en el medidor aumenta.

	Cultivo	Déficit permitido de manejo del riego (%)	Profundidad de la raíz (pies)
Cereales	Cebada y avena	55	3.3-4.5
	Maíz	50-55	2.6-6.0
	Sorgo	50-55	3.3-6.6
	Arroz	20	1.6-3.3
Legumbres	Frijoles	45	1.6-4.3
	Soya	50	2.0-4.1
Forrajes	Alfalfa	50-60	3.3-9.9
	Bermuda	55-60	3.3-4.5
	Pasto para pastizales	60	1.6-3.3
Césped	Temporada fría	40	1.6-2.2

23. Microchip Technology Inc. MCP3204: 2.7V 4-Channel/8-Channel 12-Bit A/D Converters with SPI™ Serial Interface (paper: DS21298C 2002). Enero 2002, EUA.

24 .SoilMoistureIndicators (Indicadores de Humedad de la tierra). California E. U. A. Enero 2013. www.IRRROMETER.com.

	Temporada caliente	50	1.6–2.2
Árboles	Duraznos	50	3.3–6.6
Verduras	Zanahorias	35	1.5–3.3
	Lechuga	30	1.0–1.6

Tabla N°3.2.- Déficit permitido de manejo del riego y profundidad de la raíz²⁴.

También una salida en voltaje analógico con una pendiente lineal de 29.44 mV por cada cb (kPa) desde 4.25 hasta 1.305 volts \pm 0.10 con una fuente de alimentación de 5 voltios²⁵. Si los 5 voltios equivale a 4095 en decimal (FFF en hexadecimal), 4.25 voltios equivale a 3480.75 (aproximadamente = D98Hex) y 1.305 es como a 1068.795 (aprox. = 42CHex), por lo tanto como máximo D98Hex y el mínimo 42CHex, la diferencia es 96CHex = 2412Decimal, el rango de medición del tensiometro es de 100 centibares, por lo tanto cada centibar tiene una precisión rango de $2412/100=24.12$, entonces la precisión es de $1/24=0.041$ centibares.

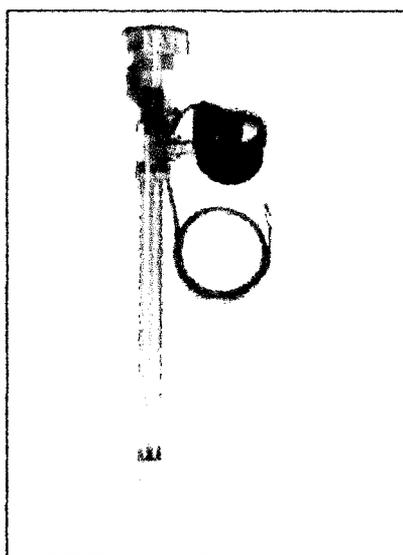


Figura N°3.10.- El Tensiometro.

25.Automation and Output Options (Opciones de Salida y Automatización). California E. U. A. enero 2013. www.IRROMETER.com.

En la Tabla N°3.3 se puede ver las tensiones de humedad recomendadas para algunos cultivos, en el caso del Maíz se sugiere un máximo de 50cb y un mínimo de 80cb, también indica que para los granos (también está el maíz) en etapa de maduración requiere menos agua (de 70cb a 80cb).

Cultivo		Tensión centibars
Repollo		60-70
Melón		35-40
Zanahoria		55-65
Coliflor		60-70
Apio		20-30
Maíz (dulce)		50-80
Granos	Etapa de crecimiento vegetativo	40-50
	Etapa de maduración	70-80
Lechuga		40-60
Cebolla		45-65
Papas		30-50
Tomate		60-150

Tabla N°3.3.- Tensiones de humedad recomendadas para algunos cultivos².

En el Listado N°3.1 se puede ver que el programa que convierte una señal analógica que viene del Tensiómetro, el resultado se almacena en los registros DatoHL (con cuatro bits de mayor peso) y DatoLL (con ocho bits de menor peso).

Listado N°3.1:- Conversion Análogo Digital.
ConvL_AD; Resultados de la conversión se almacenan en DatoHL y DatoLL.
movlw 0x20 ;Habilitar puertos SCK, SDO, SDI y SS (SSPEN=1)
movwf SSPCON ;SCLK Descansa en '0' (CKP=1)
bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank1
bsf SSPSTAT,6 ;Transmite '1' nivel descanso SCLK ('0') (CKE=1)
movlw 0x10
movwf TRISC ;PORTC,4 como puerto de ingreso datos seriales
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank0

```

bsf PORTC,2 ;Deshabilitar al chip MCP3208
INI_AD1bcf PORTC,2 ;Habilitar al chip MCP3208
movlw 0x06 ;Enviar el bit start, bit modo simple para el ingreso
movwf SSPBUF ;de señal analógica(otro modo es diferencial)
call ESPERAR_BF ;Esperar hasta que se completa el envío
movlw 0x40 ;Enviar pedido para seleccionar el Canal CH1
movwf SSPBUF ;del Convertidor Análogo Digital MCP3208
call ESPERAR_BF ;Esperar hasta que se completa el envío
movf SSPBUF,W ;Leer 4 mayores bits de la conversión
andlw 0x0F ;Solo salir los cuatro bits de menor peso
movwfDatoHL ;Almacenar en el registro DATH0
movlw 0x00 ;Envío simulado para recibir otros 8 bits (total son
movwf SSPBUF ;12 bits)de laconversión ADC que faltan
call ESPERAR_BF ;Esperar hasta que se completa el envío
movf SSPBUF,W ;Leer 8 de 12 bits que faltan de MCP3208
movwfDatoLL ;Almacenar en el registro DATL0
bsf PORTC,2 ;Deshabilitar al chip MCP3208
return

```

El Microcontrolador principal controla a la Electroválvula ELVA1 (ver FiguraN°3.11), para que deje pasar la fuente de agua para riego o no deje pasar, dependiendo si la humedad en la raíz del maíz está debajo o sobre del valor de la humedad programada. Funciona con 220 VAC de KLQD con rango máximo de presión de trabajo de 10Kgr/cm² para tubería de media pulgada.

En la Figura N°3.12 se puede ver el interface que incrementa la fuerza de la señal "ELVA1" para que pueda controlar a la Electroválvula, el optoacoplador protege de ruidos que genera los motores y las tierras de la primera etapa con la segunda son diferentes.

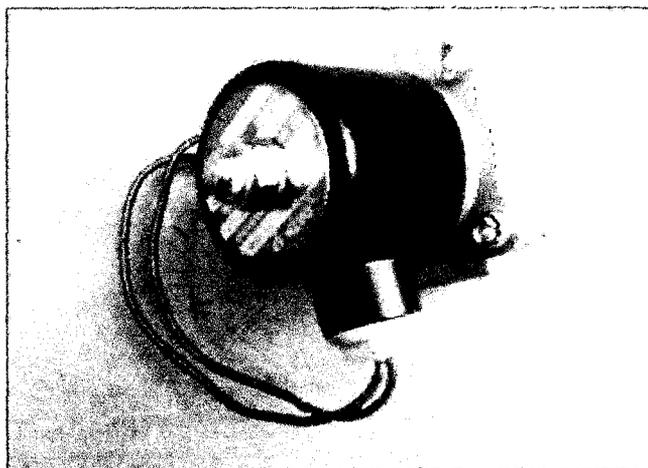


Figura N°3.11.- Electroválvula ELVA1.

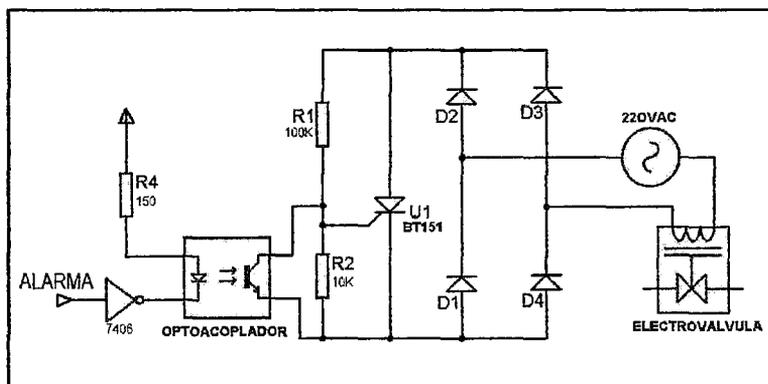


Figura N°3.12.- Interface de la Electroválvula.

3.5.3. INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE "U1" Y "U2".-El control del envío se realiza mediante: "PORTA,1 = INI", "PORTA,2 = FIN" y "PORTE,3 = PUL" (ver Figura N°13), el envío se realiza en el PORTA,0 que consiste en un dato de diez bits (consta de 8 bit de datos reales, un bit de start y un bit de stop) como se puede ver en la Figura N°3.13. El microcontrolador principal mediante un cero lógico pide cada minuto (ver Figura N°3.14) que el micro controlador secundario le envíe un dato mediante el puerto PORTA, 1, luego el uC secundario mediante el puerto PORTA, 2 acepta enviar un dato con un cero lógico, a continuación envía unos pulsos de sincronismo para cada uno de los datos (D0, D1, D2,...) de 10 bits. El envío de datos culmina cuando el PORTA, 2 pasa de cero a uno lógico.

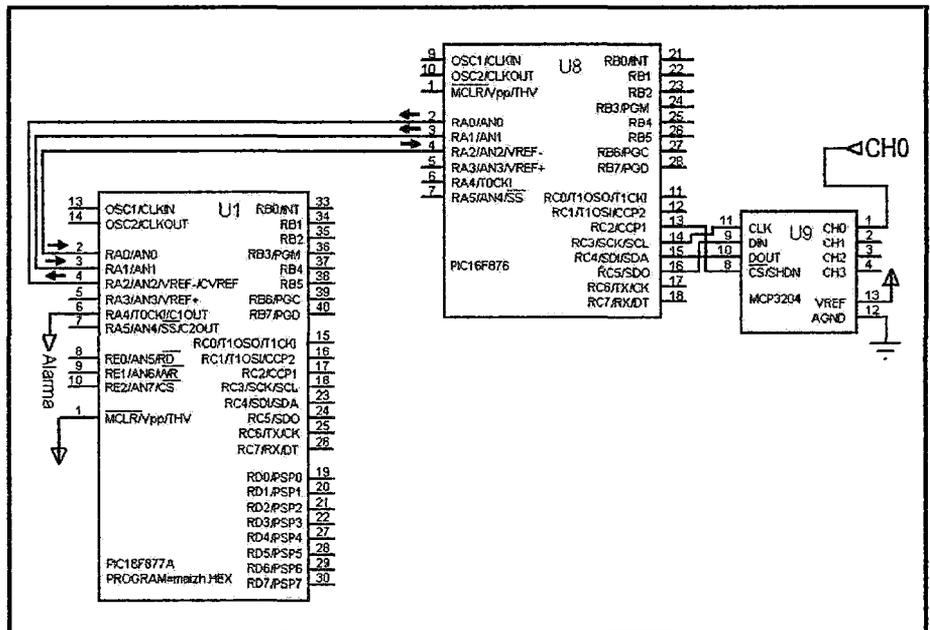


Figura N°3.13.- Intercambio de datos entre los microcontroladores.

En los listados N°3.2 y N°3.3 se puede ver los programas para enviar los datos del microcontrolador secundario al principal; la subrutina de recepcion está en el uC principal y la subrutina de transmision se encuentra en el uC secundario.

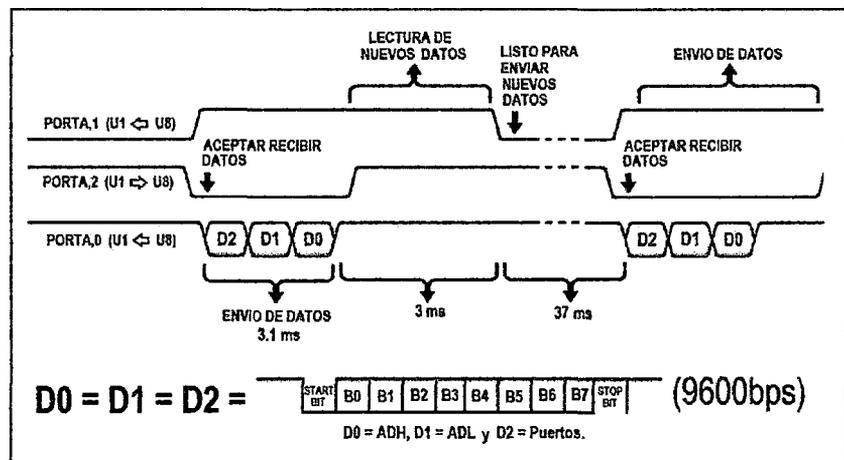


Figura N°3.14.-Envío de datos entre los microcontroladores "U2" hacia "U1"..

Listado N°3.2.- Subrutina de recepcion de datos entre "U1" y "U2".

```

RECIB  clrf RECEPC ;limpiar registro de recepcion
      btfsc PORTC,7 ;linea de recepcion està en bajo?
      goto RECIB ;si no lo està, volver a leer
      call MedBit ;llamar rutina uno y medio bits
      call UnBit
      movlw 0x08 ;cargar contador con
      movwf CONTA ;el numero de bits
RNEXTbcf STATUS,CY ;limpiar carry
      btfsc PORTA,1 ;preguntar por el estado de linea
      bsf STATUS,CY ;activar carry si està en alto
      rrf RECEPC ;rotar registro de recepcion
      call UnBit ;llamar rutina de un bit
      decfsz CONTA ;decrementar contador, saltar si es cero
      goto RNEXT ;repetir hasta completar dato

movf RECEPC,0
movwf PORTC
return
UnBit  movlw .250 ;.....
      movwf RETARD
RET22  nop
nop
      decfsz RETARD
      goto RET22
      return
MedBit  movlw .125 ;.....
      movwf RETARD
RET11  nop
      decfsz RETARD
      goto RET11
      return

```

```

Listado N°3.3.- Subrutina de transmisión de datos entre "U1" y "U2".
Trans movlw 8
    movwf CONTA
    bcf PORTA,0 ;colocar linea de transmision en bajo
    call UnBit ;.....para generar linea de arranque
XNEXT bcf PORTA,0 ;colocar linea de transmision en bajo
    bcf STATUS,CY ;limpiar carry
rfr TRANSM ;rotar registro de transmision
    btfsc STATUS,CY ;preguntar por el carry
    bsf PORTA,0 ;si es uno, solocar linea en alto
    call UnBit ;.....llamar retardo de 1 bit
    decfsz CONTA ;decrementar contador, saltar si es cero
    goto XNEXT ;repetir hasta transmitir todo el dato
    bsf PORTA,0 ;colocar linea de transmision en alto
    call UnBit ;.....llamaR retardo 1 bit-bit de parada
    call UnBit ;.....llamaR retardo 1 bit-bit de parada
goto Trans ;retornar
UnBit movlw .250 ;.....
    movwf RETARD
RET3 nop
nop
    decfsz RETARD
    goto RET3
return
    
```

3.5.4. SUBROUTINA "Leer Almacenar Cada 5 Minutos".- La relación de las principales subrutinas en el módulo remoto se puede ver en la Figura N°3.16; la subrutina "LeerAlmacenarCada5Minutos" opera permanentemente, que mostrará en el display LCD (ver Figura N°3.15) lo siguiente: Fecha actual (30 de julio de 2013), día actual de la semana de (Lunes = Lu), humedad en la raíz del suelo (40.32

centibares), hora actual (00 horas, 07 minutos y 24 segundos) y diferencia centibares (humedad actual – humedad meta = 01.18 centibares, por debajo de humedad meta o programada). Si el usuario ingresa a cualquier otra subrutina y permanece en ella por más de dos minutos automáticamente regresará a la subrutina "LeerAlmacenarCada5Minutos". Para encontrar la última hora que almacenó una lectura de la humedad en la raíz del maíz, se eliminan los segundos y aproximamos hacia abajo a la cantidad de minutos que sean múltiplos de cinco. Por ejemplo (ver Figura N°3.16) 00:07:24 debemos aproximar a 00:05, que es la hora en donde se realiza el último registro de la humedad en la raíz del maíz.

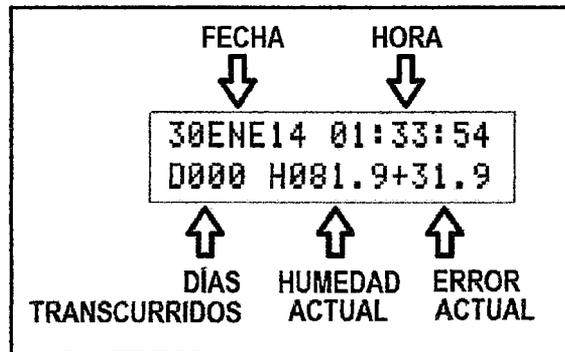


Figura N°3.15.- Mostrando humedad actual.

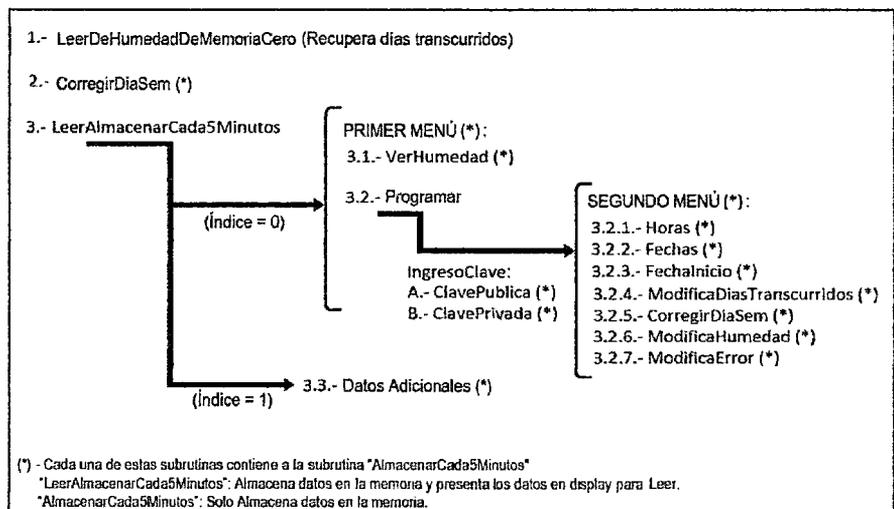


Figura N°3.16.- Subrutinas en el microcontrolador "U1".

En la Figura N°3.17 está el orden del almacenamiento de los datos en la memoria (en el Circuito integrado 25LC256) en la fila que se inicia en la posición de memoria, dice que a las 0:00 horas del día 29 de julio de 2013, se registró la humedad de 46.8 centibares, siendo la humedad programada de 45 centibares, el registro se tomó el 15avo día del periodo vegetativo del maíz y el día de la semana actual es el séptimo día (07=Domingo). En la Figura N°3.18 se puede ver el mapeo de la memoria en el circuito integrado 25LC256, en donde se almacena los registros de humedad durante siete días, estos datos también se envían inalámbricamente a la Unidad de Supervisión; que consta de seis bytes.

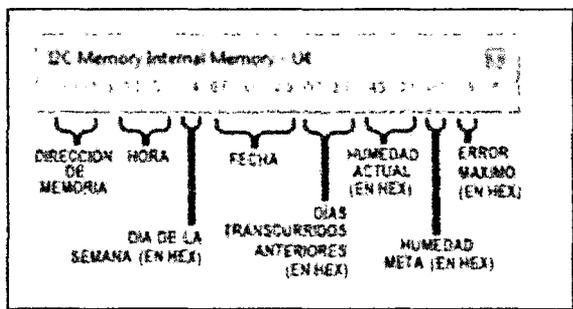


Figura N°3.17.-Almacenamiento de datos en la memoria.

Durante su periodo vegetativo, los requerimientos de humedad en la raíz no siempre es el mismo, varía de acuerdo a la etapa en la cual se encuentra, pero cuando ya está por madurar las semillas de maíz requiere menos humedad. En el segundo segmento a partir de la dirección 3A00H se guarda la humedad meta día por día, fecha de inicio del periodo vegetativo, diferencia máxima que sirve para controlar la humedad en la raíz.

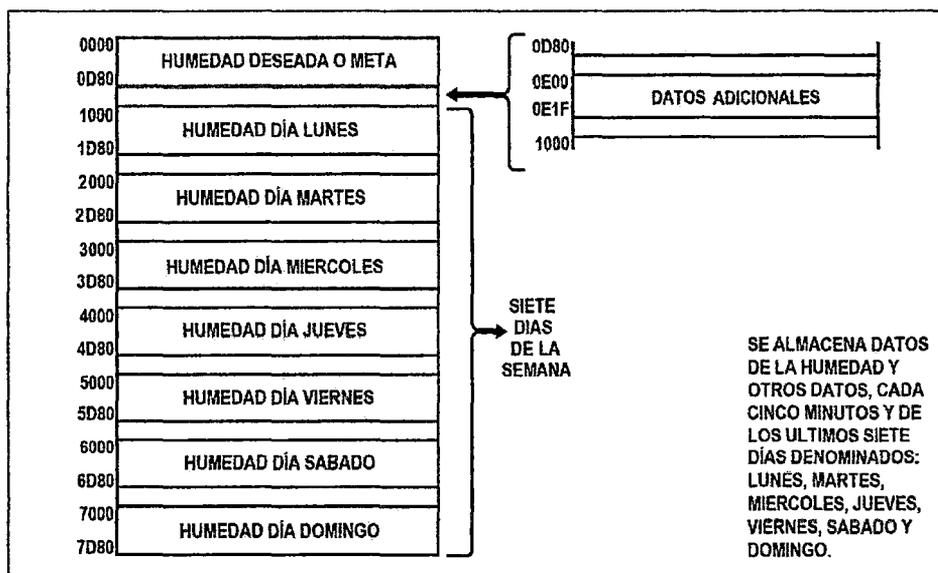


Figura N°3.18.-Mapeo de la memoria.

Al oprimir la tecla SALIR (REG=0x0A, ver Tabla N°1) o ENTRAR (REG=0x0B) salimos de la subrutina "LeerAlmacenarCada5Minutos" (ver Figura N°3.20), podemos ir a dos subrutinas llamadas "MostrarHumedad Anterior" (REG=0x01) y "IngresoClave" (REG=0x02).

También al presionar la tecla AVANZAR (REG=0x0D, ver Tabla N°3.1) se ingresa a la subrutina "MostrarOtrosDatos" presentando datos adicionales (ver Figura N°3.19) como son: Fecha de inicio del periodo vegetativo del maíz (24 de agosto de 2013), Nivel en donde está ubicado la subrutina (Nivel 1), numero de dias transcurridos a partir de la siembra (13 dias) y la diferencia maxima permitida entre la humedad actual y la programada (3 centibares).

Cuando los minutos son un factor de 5, almacena en la memoria: Hora, fecha y humedad. Luego programa el proximo almacenamiento para dentro de 5 minutos, espera que minutos se incremente en cinco y mientras tanto solo muestra en display sin almacenar en la memoria.

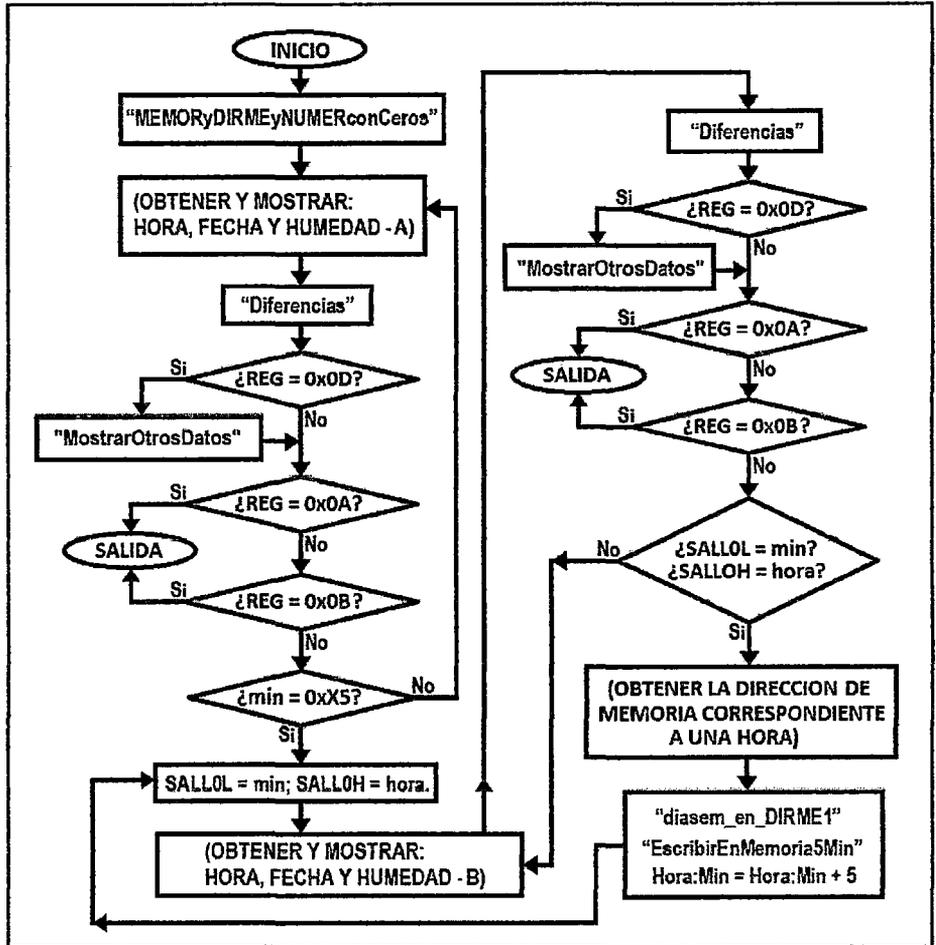


Figura N°3.19.- Subrutina "LeerAlmacenarCada5Minutos".

Al oprimir la tecla "avanzar" (ver Figura N°3.17) se muestran datos adicionales como: fecha de inicio, error máximo, etc. (ver Figura N°3.20).

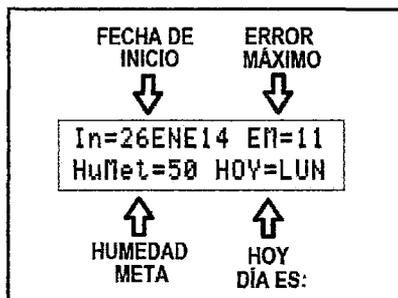


Figura N°3.20.- Datos adicionales (con tecla avanzar).

3.5.5.PROGRAMA DE INICIO EN LA UNIDAD REMOTA.-De acuerdo a la Tabla N°3.1, al cargar REG con los valores 0x0A ó 0x0Csalimos de "Leer Almacenar Cada 5 Minutos" tambiénsalimos de la presentacion de la Figura N°3.15 y pasamos a la Presentacion que se puede ver en la Figura N°3.21; que en un extremo podemos ver dos opciones: Al presionar la tecla "1" (REG = 0x01) se ingresa a la subrutina "VerHumedad" (VerHumAntes) y al presionar la tecla "2" (REG=0x02) se entra a la subrutina "IngresoClave" (PROGRAMAR).

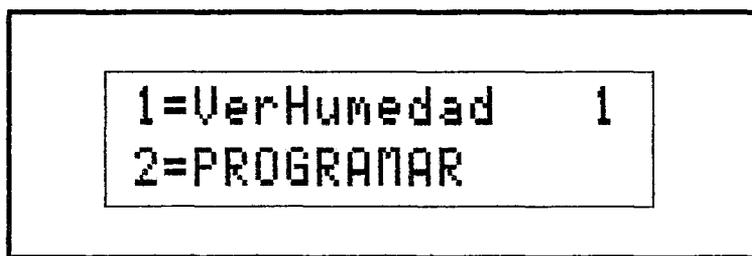


Figura N°3.21.- Presentacion al salir de "CorregirDiaSem".

Su respectivo diagrama de flujo se puede ver en la Figura N°3.22 y el listado de su respectivo programa se puede verse en el Listado N°3.4, que es el programa de inicio en la Unidad Remota. En cualquier subrutina si se queda mas de 3 minutos, automaticamente regresa a "LeerAlamcenaarCada5Minutos" en donde se encontrara permanentemente.

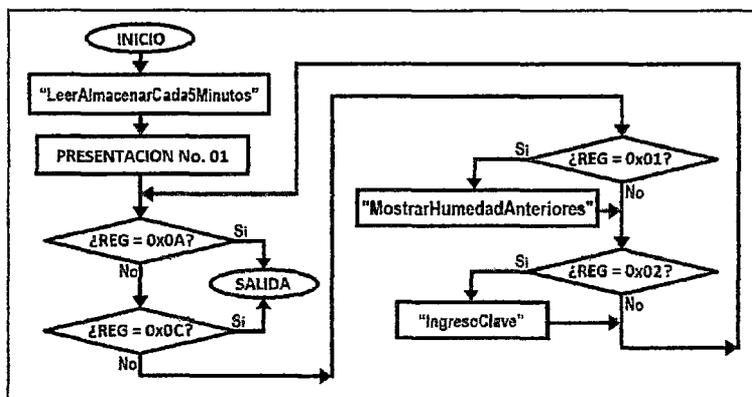


Figura N°3.22.- Programa de inicio en la Unidad Remota.

Listado N°3.4.- Inicio de programa en el modulo remoto.

```
Inicio bcf PCLATH,3
      bsf PCLATH,4
      call LeerAlmacenarCada5Minutos
IniA0 bcf PCLATH,3
      bcf PCLATH,4
      call IdenTecla
      bsf PCLATH,4
      call VallniVerLoT
      bcf PCLATH,4
      call LineaUno
      bsf PCLATH,4
      call VallniIngresoClave
      bcf PCLATH,4
      call LineaDos
IniA1 bcf PCLATH,3
      call IdenTecla
      bcf STATUS,5
      movlw 0x0A
      xorwf REG,0
      btfsc STATUS,2
      goto IniA5
      movlw 0x0C
      xorwf REG,0
      btfsc STATUS,2
      goto IniA5
      movlw 0x01
      xorwf REG,0
      btfss STATUS,2
      goto IniA2
```

```

clrf REG
bcf PCLATH,3
    bsf PCLATH,4
    goto MostrarHumedadAnteriores
IniA3 goto IniA0
IniA2 movlw 0x02
    xorwf REG,0
    btfss STATUS,2
goto IniA1
    clrf REG
clrf conud
    goto IngresoClave
IniA4 goto IniA0
IniA5 clrf REG
    goto Inicio

```

En la siguiente Figura N°3.23 se detalla paso a paso el ingreso de las claves (ClavePublica = 23983052 y ClavePrivada = 7634). También se usa las teclas especiales como SAL (REG = 0x0A), que se utiliza según sea el caso. Por lo general se sale con (REG=0x0A y REG=0x0C).

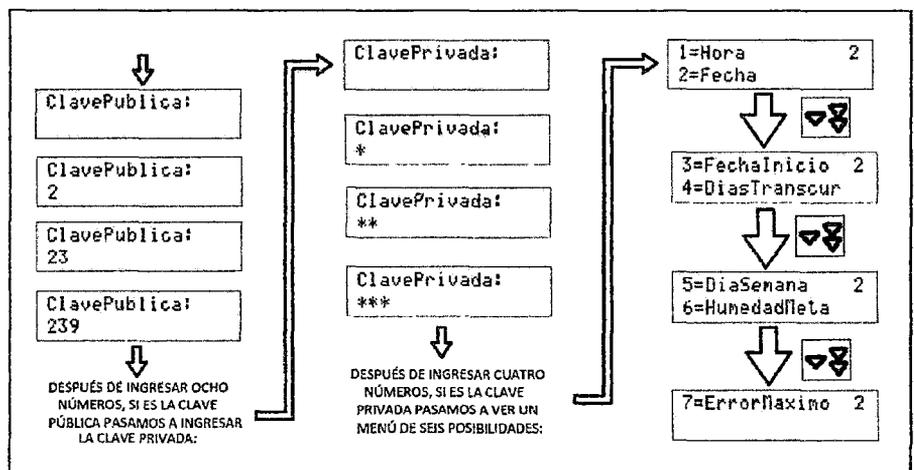


Figura N°3.23.- Programa de inicio en la Unidad Remota.

3.5.6. LA MEMORIA SERIAL 25C256 Y EL RTC DS3232.-La memoria serial 25C256 utiliza las subrutinas: Para leer doce bytes de la memoria que se encuentran en una fila (ver Figura N°3.17) se requiere la subrutinas "Leer De Memoria" (ver Listado N°3.5), para leer doce bytes de la memoria se utiliza la subrutina "EscribirEnMemoria"(ver Listado N°3.6). En el Reloj de Tiempo Real DS3232 se escribe con la ayuda de la subrutina "EscriRTC" (ver Listado N°3.7) los siguientes datos: Fecha actual, hora actual, día de la semana actual y año actual; También se puede leer dichos datos con la subrutina "LeerRTC"(ver Listado N°3.8).

Listado N°3.5.- Subrutina "LeerDeMemoria"
<pre> LeerDeMemoria call BSTART ;Generar condición de inicio. movlw 0xA0 ;Cargar byte de control para ESCRIBIR. movwf DATA0 ;Cargar byte de control para escribir. call TxByte ;Enviar byte a la memoria. call CheAck bsf STATUS,5 ;Seleccionar Bank1 movf DIRME1,0 ;Cargar Dirección Byte Alto. bcf STATUS,5 ;Seleccionar Bank1 movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida call TxByte ;Enviar byte a la memoria. call CheAck bsf STATUS,5 ;Seleccionar Bank1 movf DIRME0,0 ;Cargar Dirección Byte Alto. bcf STATUS,5 ;Seleccionar Bank1 movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida call TxByte ;Enviar byte a la memoria. call CheAck call BRESTART ;Generar condición de reinicio. </pre>

```
movlw 0xA1 ;Cargar byte de control para LEER.
movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
    bcf STATUS,5 ;Seleccionar Bank1 .....
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf dia
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf mes
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf año
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf hora
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf min
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf seg
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
```

```

movwf NUMER2
call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf NUMER1
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf NUMER0
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf NUMER5
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf NUMER4
    call B_ACK
call RX_BYTE ;Recibir byte de la memoria.
movf DATAI,0
    movwf NUMER3
    call B_NOACK
call BSTOP ;Generar condición de parar.
return
;-----
RX_BYTE
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
bcf PIR1,SSPIF ;SSP=0 indicador de interrupción
bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 1
bsf SSPCON2,RCEN ;Iniciar operación de byte
Rx_Aun bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0

```

```

    btfss PIR1,SSPIF ;Chequear si completó operación
    goto Rx_Aun ;Si aun no, volver a chequera
    movf SSPBUF,W ;Copiar byte hacia WREG
    movwf DATA1 ;Copiar WREG hacia data1
    bcf PIR1,SSPIF ;SSP=0 indicador de interrupción

return
;-----
TxByte bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
bcf PIR1,SSPIF ;Poner SSPIF=0 indica interrupción
movf DATA0,W ;Copiar data0 hacia WREG
movwf SSPBUF ;Escribir byte hacia el dispositivo
TxWait btfss PIR1,SSPIF ;Chequear si completó operación
        goto TxWait ;Si aun no, volver a chequear
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
    return
;-----
CheAck bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
btfsc SSPCON2,ACKSTAT
goto CheAck
        bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
    return
BSTART
    bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
    bcf PIR1,SSPIF ;SSP=0 indicador de interrupción
    bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 1
    bsf SSPCON2,SEN ;Condición de Start
    bstart_wait
        bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
    btfss PIR1,SSPIF ;Chequear si completó operación
    goto bstart_wait ;Si aun no, volver a chequear
    return

```

```

;
BSTOP
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
bcf PIR1,SSPIF ;SSP=0 indica de interrupción
bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 1
bsf SSPCON2,PEN ;Generar Shacia elp condición
Espera
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
btfss PIR1,SSPIF ;Chequear si completó operación
    goto Espera ;Si aun no, volver a chequear
return
B_ACK
bsf STATUS,RP0 ;Pasar al banco 1
bcf STATUS,RP1 ;nos situamos en ese banco primero
    bcf SSPCON2,ACKDT ;ACKDT=0 para sacarlo luego
    bsf SSPCON2,ACKEN ;Iniciamos secuencia con ACKEN=1
S_ACK
btfsc SSPCON2,ACKEN ;Si hay condición de START saltar
    goto S_ACK ;Si no, seguimos esperando
    bcf STATUS,RP0 ;Volvemos al banco 0
return
B_NOACK
bsf STATUS,RP0 ;El registro SSPCON2 está en banco 1
bcf STATUS,RP1 ;nos situamos en ese banco primero
    bsf SSPCON2,ACKDT ;ACKDT=1 para sacarlo luego
    bsf SSPCON2,ACKEN ;Iniciamos secuencia con ACKEN=1
S_NOACK
btfsc SSPCON2,ACKEN ;Cuando ACKEN=0 hay START
goto S_NOACK ;Si no, seguimos esperando
    bcf STATUS,RP0 ;Volvemos al banco 0
return

```

Listado N°3.6.- Subrutina "Escribir En Memoria".
Escribir En Memoria

```

    call BSTART ;Generar Start condición
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
movlw 0xA0 ;Cargar byte de control para ESCRIBIR.
    movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida.
    call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
    bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank1 .....
movf DIRME1,0 ;Cargar Dirección Byte Alto.
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank0 .....
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida.
    call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
    bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank1 .....
movf DIRME0,0 ;Cargar Dirección Byte Bajo.
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank0 .....
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
    call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
    bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank0 .....
movf dia,W ;Cargar dato a enviar.
    movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
    call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
    call CheAck
    movf mes,W ;Cargar dato a enviar.
    movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
    call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
    call CheAck
    movf año,W ;Cargar dato a enviar.
    movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida

```

```

call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf hora,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf min,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf seg,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf NUMER2,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf NUMER1,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf NUMER0,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf NUMER5,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf NUMER4,W ;Cargar dato a enviar.

```

```

movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
movf NUMER3,W ;Cargar dato a enviar.
movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TxByte ;Enviar byte a la memoria.
call CheAck
call BSTOP ;Generar condición de parar.
Return

```

Listado N°3.7.- Subrutina "Escri RTC".

```

EscriRTC
  call BSTART ;Generar Start condición
  bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
movlw 0xD0 ;Cargar el byte de control para escribir
  movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
  call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
  bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
  movlw 0x00 ;Cargar 0x5A para word address
  movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
  call TX_BYTE
  bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
movf seg,W
  movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
  call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
  bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
movf min,W ;Cargar el byte de control para escribir
  movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
  call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
  bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
movf hora,W

```

```

movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
movf diasem,W
movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
movf dia,W
movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
movf mes,W
movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0 .....
movf año,W
movwf DATAO ;Copiar datao para la salida
call TX_BYTE ;Enviar byte de control al dispositivo
call B_NOACK
call BSTOP ;Generar Shacia elp condición
return
;-----
TX_BYTE
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
bcf PIR1,SSPIF ;SSP=0 indicador de interrupción
movf DATAO,W ;Copiar datao hacia WREG
movwf SSPBUF ;Escribir byte hacia el dispositivo
Tx_Aun btfss PIR1,SSPIF ;Chequear si completó operación
goto Tx_Aun ;Si aun no, volver a chequear
return
;-----

```

```

CheAck bsf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
        btfsc SSPCON2,ACKSTAT
        goto CheAck
        bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
return

```

Listado N°3.8.- Subrutina "LeerRTC".

```

LeerRTC
call BSTART ;Generar Start condición
        bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
movlw 0xD0 ;Cargar byte de control para escribir
        movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
        call TX_BYTE ;Byte de control hacia el dispositivo
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
        movlw 0x00 ;Cargar 0x00 para word address
movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
call TX_BYTE
        call BRESTART
        bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
movlw 0xD1 ;Cargar byte de control para escribir
        movwf DATA0 ;Copiar datao para la salida
        call TX_BYTE ;Byte de control al dispositivo
bcf STATUS,RP0 ;Seleccionar Bank 0
call RX_BYTE ;Leer byte desde dispositivo
call B_ACK
        movf DATAI,W
        movwf seg
        call RX_BYTE ;Leer byte desde dispositivo
        call B_ACK
        movf DATAI,W
        movwf min

```

```

        call RX_BYTE ;Leer byte desde dispositivo
        call B_ACK
movf DATAI,W
        movwf hora
        bcf hora,6
        call RX_BYTE ;Leer byte desde dispositivo
call B_ACK
        movf DATAI,W
        movwf diasem
        call RX_BYTE ;Leer byte desde dispositivo
        call B_ACK
        movf DATAI,W
        movwf dia
        call RX_BYTE ;Leer byte desde dispositivo
        call B_ACK
movf DATAI,W
        movwf mes
        bcf mes,7
        call RX_BYTE ;Leer byte desde dispositivo
call B_NOACK
        movf DATAI,W
movwf año
        call BSTOP
        return

```

3.5.7. CONVERTIR HEXADECIMAL A DECIMAL.- Como la presentacion al usuario debe ser en decimal y el uC procesa numeros hexadecimales, es necesario convertir de número hexadecimal a decimal, en nuestro caso debemos convertir un número de 24 bits a decimal, la subrutina que tiene que ver con esta conversion es "ConvertirHEXAaDECI" (Listado N°3.9), en donde la subrutina fundamental es "SumarPesodeBits"(ver Listado N°3.10), esta subrutina suma los

pesos de la posición de cada bit, en total 24 bits, que son: "OchentaMil", "CuarentaMil", "Veinte Mil", "diez Mil", "Ocho Mil", "Cuatro Mil", "Dos Mil", "Un Mil", "Ocho Cientos", "Cuatro Cientos", "Dos Cientos", "Un Ciento", etc.

Listado N°3.9.- Subrutina de Convierte un numero hexadecimal a decimal.

```

;Dato de ingreso NUME0, NUME1 y NUME2.
;Dato de salida DECIO, DEC11 y DEC12.
ConvertirHEXAaDECI
call DEClesCERO
call SUMAyCOSlesCERO
  call SumarPesodeBits
call HexDec ;Culmina la conversión HEXA a DECI
movf REST0,0
movwf DECIO
call COSIporNUME ;NUME <= COSI
call SUMAyCOSlesCERO
call NUMEmenorqueA ;Si UME<0x0A indicar con BandHD,1
btfs BandHD,1
goto HD1
movf NUME0,0
movwf DEC11
goto HDx
HD1 call SUMAyCOSlesCERO
  call SumarPesodeBits
  call HexDec
  movf REST0,0
  movwf DEC11
  call COSIporNUME ;NUME <= COSI
call SUMAyCOSlesCERO
  call NUMEmenorqueA ;Si UME<0x0A indicar con BandHD,1

```

```

btfss BandHD,1
    goto HD2
    movf NUME0,0
    movwf DECI2
    goto HDx
HD2  call SUMAyCOSlesCERO
    call SumarPesodeBits
    call HexDec
    movf REST0,0
    movwf DECI2
    call COSIporNUME ;NUME <= COSI
    call SUMAyCOSlesCERO
    call NUMEmenorqueA ;Si UME<0x0A indicar con BandHD,1
btfss BandHD,1
    goto HD3
    movf NUME0,0
    movwf DECI3
    goto HDx
HD3  call SUMAyCOSlesCERO
    call Sumar Peso de Bits
    call HexDec
    movf REST0,0
    movwf DECI3
    call COSIporNUME ;NUME <= COSI
    call SUMA y COS les CERO
    call NUME menor que A ;Si UME<0x0A indicar con BandHD,1
btfss BandHD,1
    goto HD4
    movf NUME0,0
    movwf DECI4
    goto HDx

```

44

```

HD4  call SUMAyCOSlesCERO
    call SumarPesodeBits
        call HexDec
    movf REST0,0
    movwf DEC14
    call COSIporNUME ;NUME <= COSI
    call SUMAyCOSlesCERO
    movf NUME0,0
        movwf DEC15
HDx  return

```

Listado N°3.10.- Subrutina "Sumar Peso de Bits".

```

Sumar Peso de Bits
    btfss NUME2,3 ;Primer niple
    goto SPBi0
    call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
    call OchentaMil ;Peso de NUME2,3
    call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi0 btfss NUME2,2
    goto SPBi1
    call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
        call CuarentaMil ;Peso de NUME2,2
        call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi1 btfss NUME2,1
    goto SPBi2
    call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
    call VeinteMil ;Peso de NUME2,1
    call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi2 btfss NUME2,0
    goto SPBi3
    call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI

```

```

call DiezMil ;Peso de NUME2,0
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi3 btfss NUME1,7 ;Segundo niple
goto SPBi4
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call OchoMil ;Peso de NUME1,7
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi4 btfss NUME1,6
goto SPBi5
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call CuatroMil ;Peso de NUME1,6
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi5 btfss NUME1,5
goto SPBi6
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call DosMil ;Peso de NUME1,5
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi6 btfss NUME1,4
goto SPBi7
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call UnMil ;Peso de NUME1,4
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi7 btfss NUME1,3 ;Tercer niple
goto SPBi8
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call OchoCientos ;Peso de NUME1,3
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi8 btfss NUME1,2
goto SPBi9
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call CuatroCientos ;Peso de NUME1,2

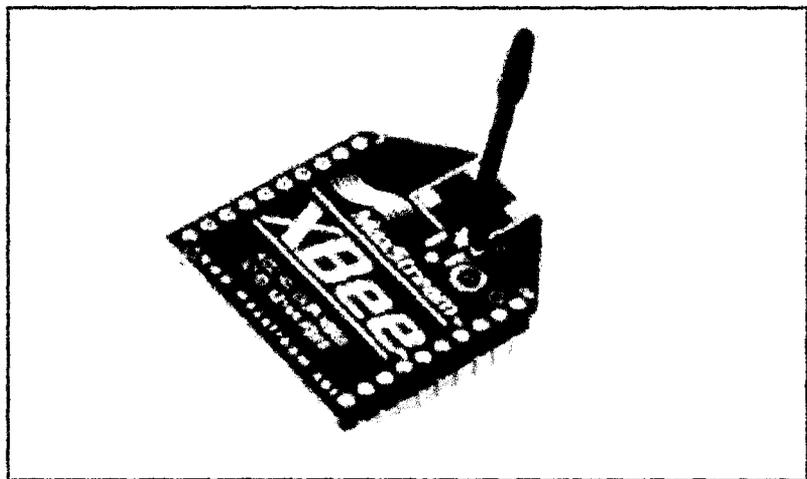
```

```

call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBi9 btfss NUME1,1
goto SPBiA
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call DosCientos ;Peso de NUME1,1
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBiA btfss NUME1,0
goto SPBiB
call ReemplazSUMABByCOSIB ;SUMAB<=SUMA, COSIB<=COSI
call UnCiento ;Peso de NUME1,0
call SumDosNumde24bits ;SUMA=SUMA+SUMAB, COSI=COSI+COSIB
SPBiB return

```

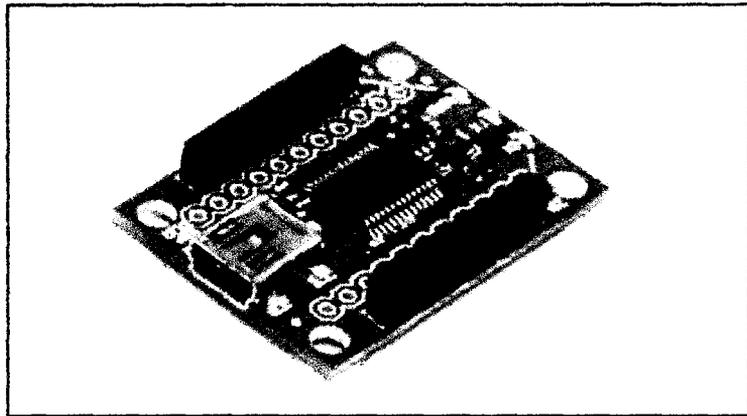
3.5.8. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA²⁰.- El módulo Zigbee para comunicación inalámbrica "XBee 1mW Wire Antena" (ver Figura N°3.24), permite una comunicación muy simple y confiable entre microcontroladores o más bien entre cualquier dispositivo que posea un puerto serial, que estén separados como máximo 100 metros²⁶.



FiguraN°3.24.- Módulo Xbee.

26.Digi International. XBee Multipoint RF Modules, Product Datasheet, www.digi.com USA,2008.

Para poder programar el módulo XBee, se requiere el "XBee Explorer USB" que facilita la programación del módulo XBee y la conectividad con una computadora personal (ver Figura N°3.25). El módulo XBee permite ingresar datos hacia la computadora personal inalámbricamente, Existen versiones con mayores potencias de radiación, que permiten interconectar distancias de hasta varias millas, otra ventaja es su bajo consumo de energía.



FiguraN°3.25.- XBee Explorer USB

De todos los terminales del módulo XBee (ver Figura N°3.26), en una configuración mínima solo se requiere manipular cuatro terminales (ver Figura N°3.27): Fuente de alimentación ($V_{cc} = 3.3V_{cc}$), Salida de datos ($D_{out} = TXD$), Ingreso de datos ($D_{in} = RXD$) y Tierra (GND).

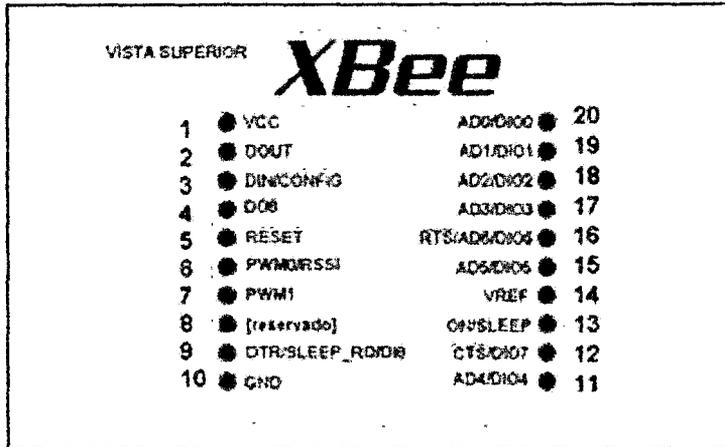


Figura N°3.26.-Pines del módulo Xbee.

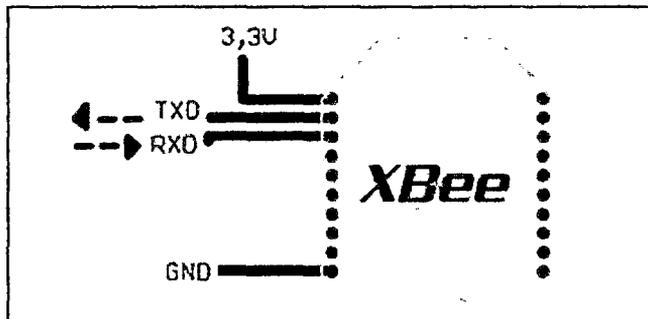


Figura N°3.27.- Conexiones mínimas requeridas para el XBEE.

El sistema queda de la siguiente forma (ver Figura N°3.28-A): La unidad remota generara los datos que se enviaran mediante la tecnologia XBee (transmisor inalambrico) la unidad de Supervisión (computadora personal) recibira los datos mediante el receptor inalambrico, la computadora personal, supervisará en un nivel simple, porque no enviará ordenes, solo los almacenara y visualizara el estado de la unidad remota.

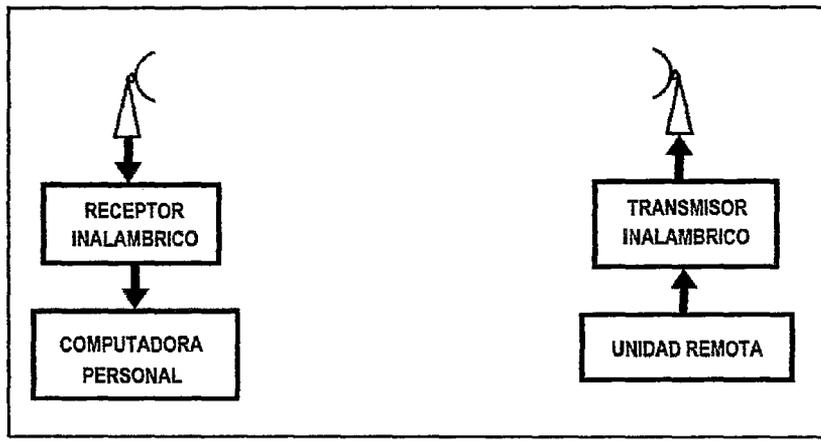


Figura N°3.28-A.- Enlace de la Unidad Remota con la Unidad de Supervisión.

3.5.9. UNIDAD DE SUPERVISIÓN.-La información ingresa mediante el instrumento virtual DAQmax de LabView (Figura N°3.28-B), también se puede ver los instrumentos virtuales que ayudan a visualizar los gráficos de la variación de la humedad durante un periodo vegetativo y durante las 24 horas de un día.

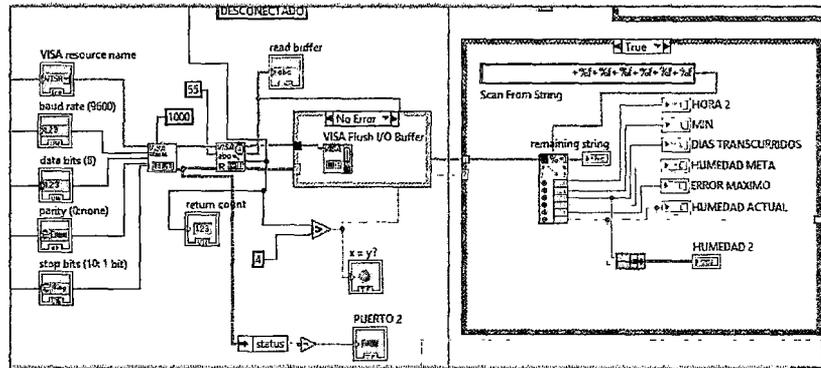


Figura N°3.28-B.- Recepcionando datos.

En la Figura N°3.29 se puede ver el programa en lenguaje grafico que almacena la información que llega de la unidad remota, que consta de 12 bytes en cada envío, como llegan y deben ser archivados correctamente. Deben ser reconocidos como numeros.

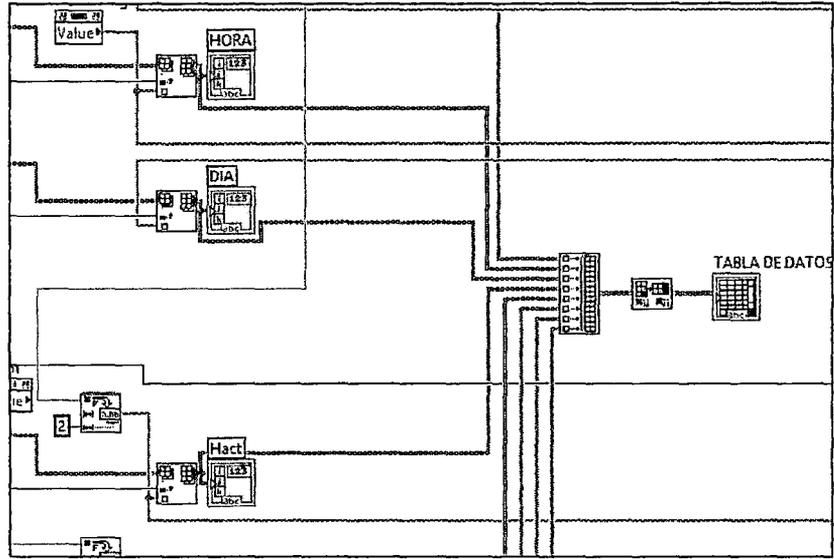


Figura N°3.29.- Almacenando datos.

En la Figura N°3.30 se puede ver el programa que solo sirve para activar la señal de alarma que indica el mal funcionamiento del enlace o que la humedad está sobrepasando mucho de la humedad meta o programada, en la cual se puede manipular el volumen.

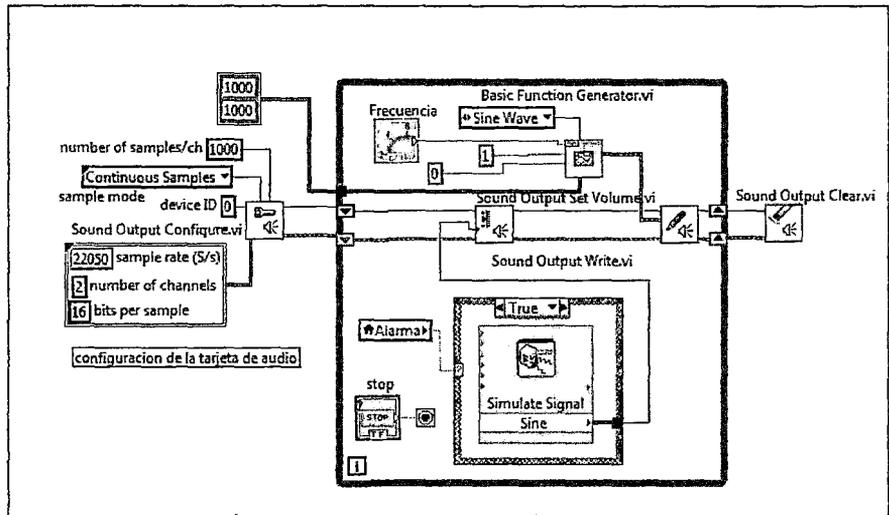


Figura N°3.30.- Generador del sonido de alarma.

En la Figura N°3.31 se encuentra el panel frontal de la unidad de supervision, basicamente se ven dos gráficos, el primero se encarga de visualizar la variacion de la humedad a lo largo de todo el periodo vegetativo del maiz. El segundo, grafica la variacion del error o diferencia entre la humedad actual y la humedad programada por humedad meta. También está la señal de alarma

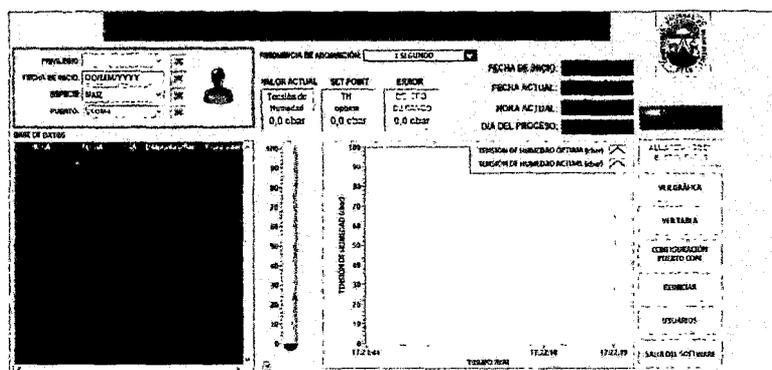


Figura N°3.31.- Panel frontal de la unidad de Supervisión.

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

3.6.1. Población: La población en la que se desarrollara este trabajo está conformada por el universo de datos de la investigación el cual es el conjunto de datos medidos directamente del experimento, los cuales son datos del volumen de agua requerida para el cultivo de maiz, el cual según estudios se desarrolla durante un periodo de 120 días, si tomamos un datos en promedio por cada día tenemos el tamaño total de la población estimada en: $N = 120$

3.6.2. Muestra: Para determinar cuál es el tamaño apropiado de la muestra con un nivel de confianza significativo (95%), con un error máximo del 15% y una desviación estándar de 1.1L de agua requerida por día. Calculamos el tamaño de la muestra a partir del siguiente modelo para una población finita:

$$\text{Cálculo de la Muestra: } n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \times \sigma^2 \times N}{Z_{\alpha/2}^2 \times \sigma^2 + e^2(N-1)}$$

Donde: $1 - \alpha = 0.95$: Nivel de confianza

Evaluamos $Z_{\alpha/2}$, de tablas: con $\alpha/2 = 0.005$:

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

La desviación estándar es de 1.1 litros, con lo cual la varianza resulta:

$$\sigma^2 = 1.1^2 = 1.21$$

El tamaño de la población resulta: $N = 120$

El máximo error admisible en el muestreo es del 15%, de donde: $e = 0.15$

Reemplazando los datos calculados obtenemos:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \times \sigma^2 \times N}{Z_{\alpha/2}^2 \times \sigma^2 + e^2(N-1)} = \frac{1.96^2 \times 1.21 \times 120}{1.96^2 \times 1.21 + 0.15^2(120-1)}$$

$$n = 76.1415 \approx 76$$

Por lo tanto el Tamaño de la muestra a las condiciones descritas está representado por 76 datos medidos de volumen de agua consumido diariamente, tomando un dato por día requerimos 76 días como mínimo.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se realizó en el taller de trabajo, en un ambiente cerrado simulando el periodo de escasez de agua de lluvia. También debe cumplir con las recomendaciones sobre la cantidad de agua que requiere el maíz, para cada etapa del periodo vegetativo del maíz.

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las muestras se obtuvieron durante nueve días (ver la Tabla N°4), en el primer día se considera un error de nueve centibares (Error Máximo = Humedad Actual – Humedad Programada), en los primeros tres días se considera 40 centibares la humedad programada; en el segundo día el error es de cinco centibares. En los tres días

siguientes se cambia la humedad programada a 45centibares y los tres últimos días fue para 50 cb.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.9.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

A.- HUMEDAD META DE 40 CENTIBARES:

A.1.ERROR MÁXIMO DE 09 CENTIBARES.- A partir de las 8 de la mañana se monitorea la humedad cada 5 minutos(ver Tabla N°3.4), en total cada 12 tomas es una hora, por lo tanto las 76 muestras, que demoran seis horas y 20 minutos. Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en:Figura N°3.32, Figura N°3.33, Figura N°3.34, Figura N°3.35 y Figura N°3.36.

Error (centibares) = Humedad Actual (centibares) - 40 centibares; Error Máximo = 9 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-7	-7	-6	-6	-7	27	0	0	1	1	1	53	10	10	9	10	9
2	-5	-6	-6	-6	-5	28	0	0	0	1	1	54	10	9	10	9	10
3	-6	-6	-5	-5	-5	29	2	1	2	1	2	55	9	9	9	9	9
4	-6	-5	-5	-6	-5	30	1	1	1	1	2	56	8	9	8	8	9
5	-5	-4	-5	-5	-5	31	2	2	2	3	2	57	8	8	7	8	7
6	-4	-4	-5	-5	-5	32	3	3	3	2	3	58	7	8	8	8	8
7	-3	-4	-3	-4	-4	33	2	2	2	2	3	59	7	8	7	8	7
8	-2	-2	-2	-3	-2	34	2	3	2	2	2	60	7	7	8	8	7
9	-1	-1	-1	-1	-1	35	2	2	2	2	2	61	8	7	8	8	8
10	-1	0	0	-1	0	36	2	3	2	3	2	62	8	7	8	7	7
11	1	1	0	0	0	37	2	2	3	3	2	63	-6	-6	-6	-6	-7
12	0	0	0	0	1	38	4	4	4	4	4	64	-6	-6	-7	-7	-7
13	1	1	1	1	1	39	3	4	3	4	4	65	-6	-6	-6	-6	-5
14	1	0	1	0	1	40	4	4	4	4	5	66	-5	-6	-5	-6	-6
15	1	1	1	1	0	41	4	4	5	4	5	67	-6	-5	-5	-5	-6
16	0	1	0	1	0	42	5	5	5	5	5	68	-4	-4	-4	-5	-4
17	0	1	1	1	1	43	6	5	6	6	6	69	-3	-3	-3	-3	-4
18	1	0	1	0	1	44	6	6	7	7	6	70	-2	-3	-2	-2	-2
19	1	1	1	1	1	45	7	6	7	6	6	71	-1	-1	-1	-1	-1
20	1	0	0	1	0	46	7	7	7	6	6	72	-1	-1	-2	-1	-1
21	1	0	1	0	0	47	8	8	7	7	7	73	-1	-1	0	-1	-1
22	1	1	1	0	1	48	8	8	8	8	8	74	0	0	1	1	1
23	1	1	0	0	1	49	8	8	9	9	8	75	1	0	0	1	0
24	1	0	1	1	0	50	8	9	9	8	9	76	0	1	1	1	1
25	0	1	1	0	0	51	9	8	9	8	9						
26	1	1	0	1	0	52	9	10	10	9	10						

Tabla N°3.4.- Datos de la primera semana

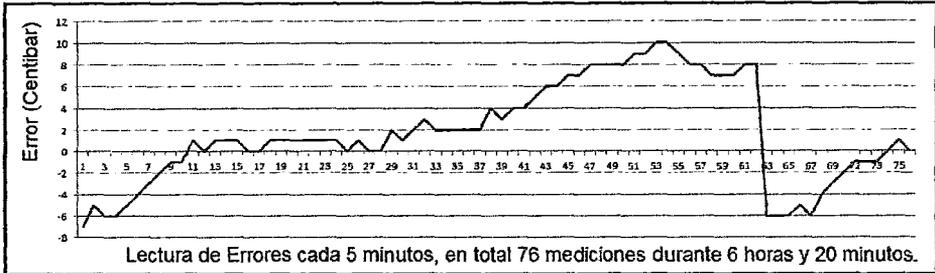


Figura N°3.32.- Primer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 centibares.

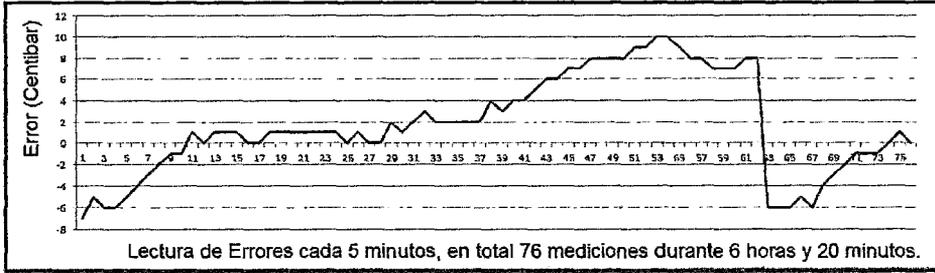


Figura N°3.33.- Segundo día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 centibares.

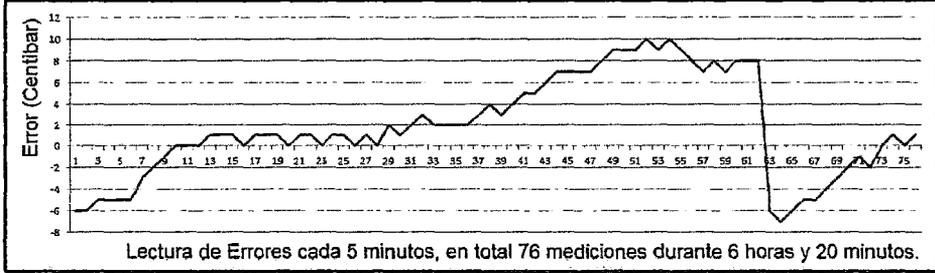


Figura N°3.34.- Tercer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 centibares.



Figura N°3.35.- Cuarto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 centibares.

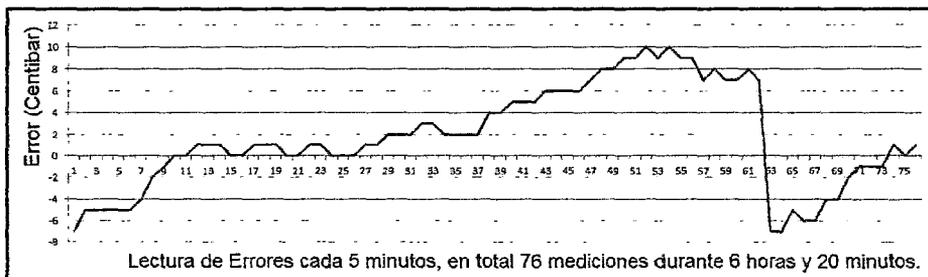


Figura N°3.36.- Quinto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 09 centibares.

A.2. ERROR MÁXIMO DE 05 CENTIBARES.- Se monitoreo la humedad a partir de las 8 de la mañana cada 5 minutos (Tabla N°3.5), en total cada 12 tomas es una hora, por lo tanto las 76 muestras, que demoran seis horas y 20 minutos. La humedad meta es de 40 centibares y el Error Máximo es 05 centibares. Se repite cinco veces (ver: Figuras N°3.37, N°3.38, N°3.39, N°3.40 y N°3.41).

Error (centibares) = Humedad actual (centibares) - 40 centibares; Error Máximo = 5 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-4	-4	-5	-4	-5	27	5	6	5	6	5	53	5	5	4	4	4
2	-3	-3	-4	-3	-4	28	6	5	6	5	6	54	4	4	5	5	5
3	-4	-4	-3	-4	-3	29	5	6	5	6	6	55	5	4	4	5	5
4	-3	-2	-3	-3	-3	30	6	5	6	5	5	56	5	4	5	5	4
5	-1	-1	-2	-2	-1	31	5	6	5	6	5	57	5	5	4	5	5
6	-1	-2	-1	-1	-1	32	-5	-5	-4	-5	-4	58	5	5	5	6	6
7	0	-1	0	-1	-1	33	-4	-4	-3	-3	-4	59	6	6	5	5	6
8	-1	0	0	-1	-1	34	-4	-4	-3	-4	-3	60	5	5	5	5	6
9	-1	0	0	0	-1	35	-2	-3	-3	-3	-2	61	6	6	6	5	6
10	0	1	0	0	0	36	-2	-2	-3	-2	-2	62	5	5	6	5	6
11	0	0	1	0	0	37	-1	-1	-2	-1	-2	63	-4	-4	-4	-4	-5
12	1	1	1	0	1	38	-1	-1	0	-1	-1	64	-4	-4	-5	-5	-5
13	1	2	1	1	1	39	-1	0	-1	0	-1	65	-3	-3	-3	-4	-3
14	2	1	2	1	1	40	0	-1	0	0	0	66	-3	-2	-2	-3	-3
15	2	2	1	2	2	41	0	0	1	0	0	67	-3	-2	-3	-3	-3
16	1	1	1	2	1	42	1	0	1	0	1	68	-2	-2	-1	-2	-2
17	3	2	3	3	3	43	1	1	0	0	0	69	-1	-2	-2	-2	-1
18	2	3	3	2	3	44	1	1	0	0	1	70	0	-1	-1	0	0
19	3	4	4	3	3	45	1	1	1	2	1	71	0	0	-1	-1	0
20	4	4	3	3	4	46	1	1	2	2	2	72	1	0	0	0	0
21	5	5	5	5	4	47	2	1	1	2	2	73	1	1	0	1	0
22	4	4	4	4	4	48	3	3	3	3	3	74	0	0	0	1	1
23	5	5	4	4	5	49	3	3	3	3	3	75	0	1	0	0	0
24	5	5	4	4	5	50	4	4	4	3	3	76	2	1	1	1	1
25	4	5	4	5	5	51	4	3	3	4	4						
26	4	5	5	5	4	52	4	4	3	4	3						

Tabla N°3.5.- Datos de la segunda semana.

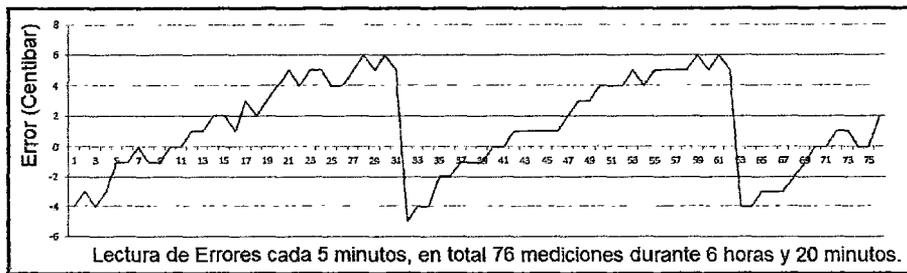


Figura N°3.37.- Primer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 centibares.

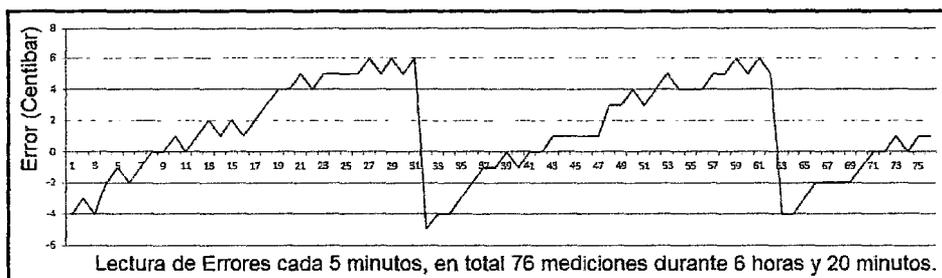


Figura N°3.38.- Segundo día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 centibares.

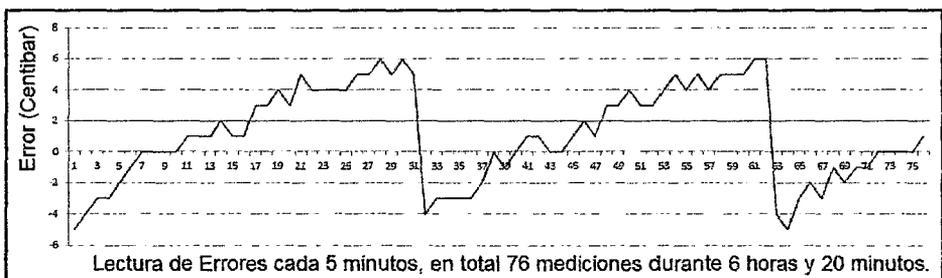


Figura N°3.39.- Tercer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 centibares.

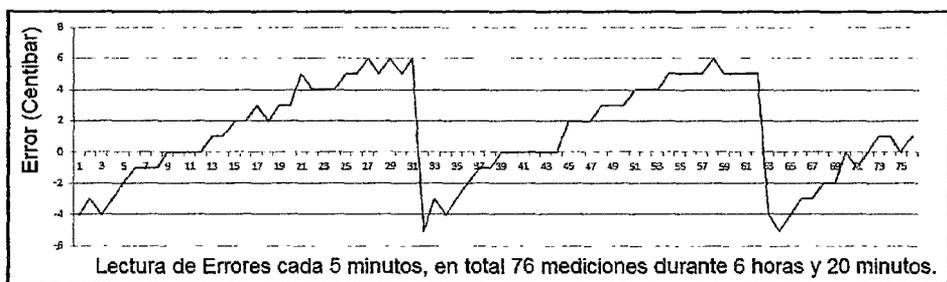


Figura N°3.40.- Cuarto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 centibares.

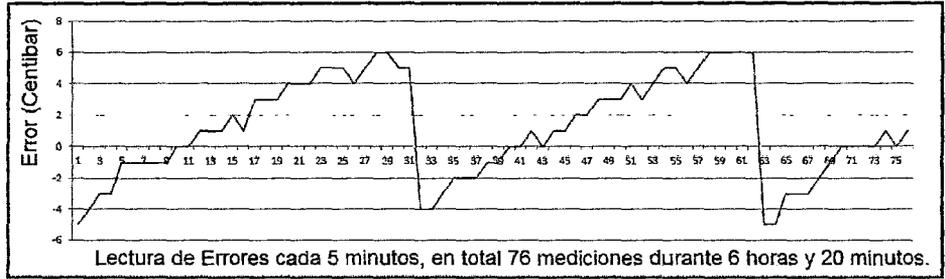


Figura N°3.41.- Quinto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 05 centibares.

A.3.- ERROR MÁXIMO DE 04 CENTIBARES.- Se monitorea la humedad a partir de las 8 a. m. cada 5 minutos (ver Tabla N°3.6), por lo tanto en seis horas y 20 minutos hay 76 muestras. La humedad meta es de 40 centibares y el Error Máximo es 04 centibares. Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en: Figuras N°3.42, N°3.43, N°3.44, N°3.45 y N°3.46.

Error (centibares) = Humedad actual (centibares) - 40 centibares; Error Máximo = 4 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-3	-4	-4	-4	-4	27	-2	-3	-3	-2	-2	53	-3	-2	-2	-3	-2
2	-3	-2	-2	-3	-2	28	-3	-2	-2	-2	-2	54	-1	-2	-1	-2	-2
3	-2	-2	-2	-3	-2	29	-1	-1	-2	-2	-1	55	-2	-2	-2	-2	-2
4	-1	-2	-1	-2	-2	30	-2	-1	-2	-2	-2	56	0	0	0	0	-1
5	-2	-2	-1	-2	-2	31	-1	0	0	0	0	57	-1	-1	-1	0	-1
6	0	-1	-1	0	-1	32	0	-1	0	0	0	58	1	1	0	0	0
7	-1	-1	0	-1	-1	33	1	1	1	1	0	59	0	1	0	1	0
8	0	0	0	0	0	34	0	1	0	1	1	60	1	0	1	1	0
9	1	0	0	1	1	35	1	0	1	1	1	61	1	1	0	1	0
10	1	0	1	1	1	36	1	1	1	1	0	62	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	2	37	2	2	1	1	2	63	2	2	1	1	1
12	2	1	2	2	2	38	1	2	1	1	2	64	1	2	1	1	1
13	1	2	1	2	1	39	2	3	2	2	2	65	2	3	3	3	2
14	3	2	3	3	3	40	3	2	3	3	3	66	3	3	3	2	3
15	2	3	2	3	2	41	2	2	2	3	3	67	3	4	3	3	3
16	3	2	3	2	3	42	3	4	4	4	4	68	4	4	3	3	4
17	4	3	4	3	3	43	4	3	4	4	4	69	3	3	4	4	3
18	4	3	4	3	4	44	4	4	3	3	3	70	4	3	4	3	3
19	3	4	3	3	3	45	4	4	3	4	3	71	4	4	4	4	3
20	4	4	3	4	4	46	4	4	4	4	4	72	4	4	4	3	3
21	4	4	3	3	4	47	3	3	4	3	4	73	4	4	4	5	4
22	4	5	5	4	5	48	4	4	5	5	4	74	5	5	5	5	4
23	5	5	5	5	5	49	4	4	5	5	4	75	5	5	4	4	4
24	5	4	5	4	5	50	4	4	4	4	4	76	-4	-3	-4	-3	-4
25	5	4	5	5	4	51	-3	-3	-4	-3	-4						
26	-4	-4	-3	-3	-4	52	-2	-2	-2	-2	-3						

Tabla N°3.6.- Datos de la tercera semana.

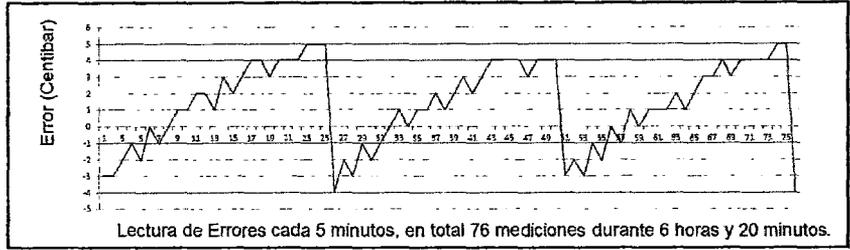


Figura N°3.42.- Primer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 centibares.

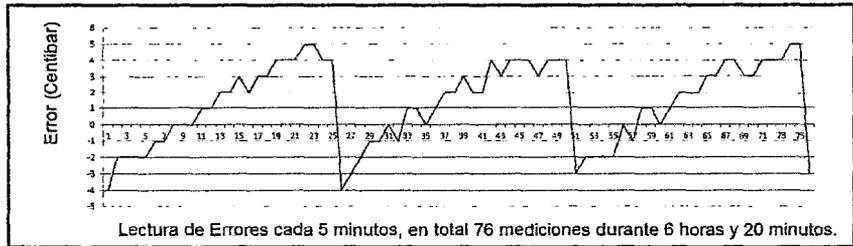


Figura N°3.43.- Segundo día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 centibares.

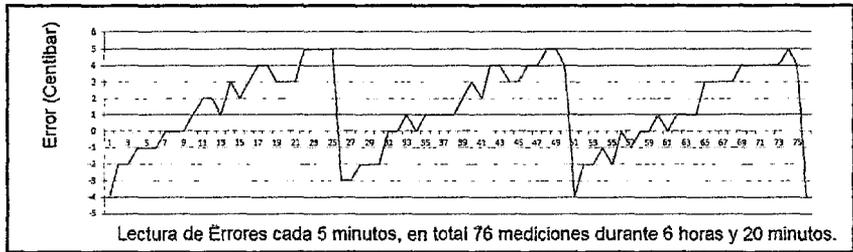


Figura N°3.44.- Tercer día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 centibares.

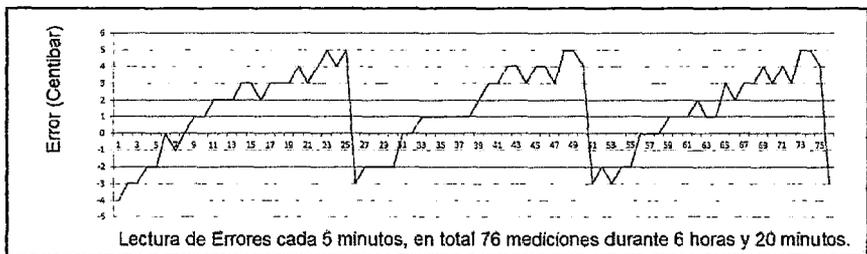


Figura N°3.45.- Cuarto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 centibares.

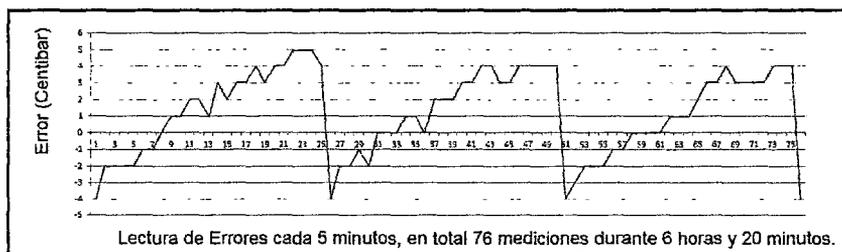


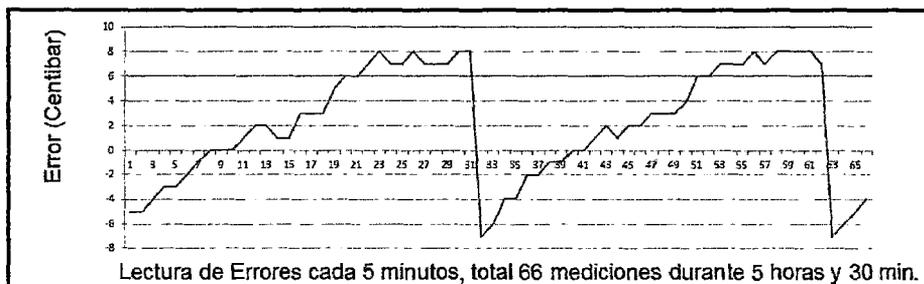
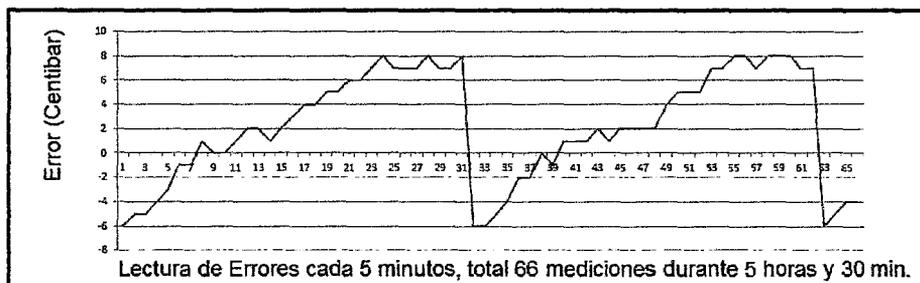
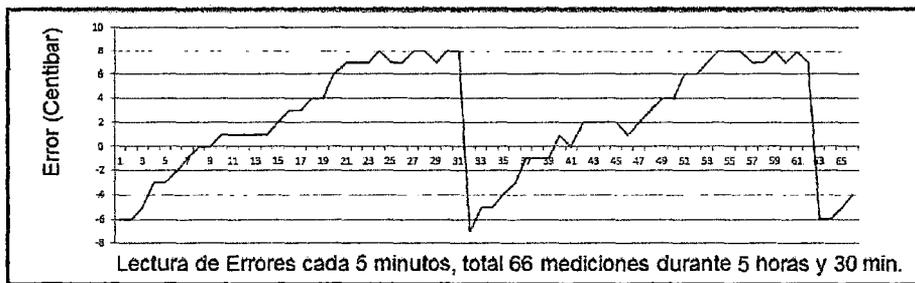
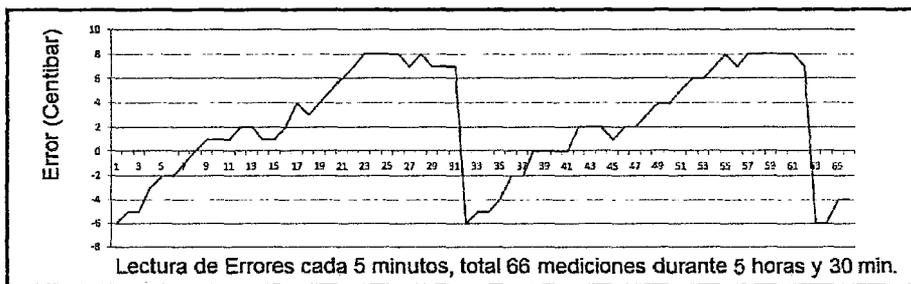
Figura N°3.46.- Quinto día. Humedad meta 40 centibares y Error Máximo 04 centibares.

B.- HUMEDAD META DE 45 CENTIBARES:

B.1. ERROR MÁXIMO DE 07 CENTIBARES.- Se monitorea la humedad cada 5 minutos (ver Tabla N°3.7) en total 12 tomas es una hora, por lo tanto las 66 muestras demoran cinco horas y 30 minutos. La humedad meta es de 45 centibares y el Error Máximo es 07 centibares. Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en: Figura N°3.47, Figura N°3.48, Figura N°3.49, Figura N°3.50 y Figura N°3.51.

Error (centibares) = Humedad actual (centibares) - 45 centibares; Error Máximo = 7 centibares.																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-6	-6	-6	-5	-6	23	8	7	7	8	8	45	1	2	2	2	2
2	-5	-6	-5	-5	-5	24	8	8	8	7	8	46	2	1	2	2	2
3	-5	-5	-5	-4	-4	25	8	7	7	7	7	47	2	2	2	3	2
4	-3	-3	-4	-3	-3	26	8	7	7	8	7	48	3	3	2	3	3
5	-2	-3	-3	-3	-2	27	7	8	7	7	8	49	4	4	4	3	4
6	-2	-2	-1	-2	-2	28	8	8	8	7	7	50	4	4	5	4	4
7	-1	-1	-1	-1	-1	29	7	7	7	7	8	51	5	6	5	6	6
8	0	0	1	0	1	30	7	8	7	8	8	52	6	6	5	6	5
9	1	0	0	0	0	31	7	8	8	8	8	53	6	7	7	7	6
10	1	1	0	0	1	32	-6	-7	-6	-7	-7	54	7	8	7	7	8
11	1	1	1	1	2	33	-5	-5	-6	-6	-6	55	8	8	8	7	8
12	2	1	2	2	1	34	-5	-5	-5	-4	-4	56	7	8	8	8	7
13	2	1	2	2	2	35	-4	-4	-4	-4	-4	57	8	7	7	7	8
14	1	1	1	1	1	36	-2	-3	-2	-2	-2	58	8	7	8	8	7
15	1	2	2	1	2	37	-2	-1	-2	-2	-2	59	8	8	8	8	7
16	2	3	3	3	3	38	0	-1	0	-1	0	60	8	7	8	8	7
17	4	3	4	3	3	39	0	-1	-1	-1	-1	61	8	8	7	8	7
18	3	4	4	3	4	40	0	1	1	0	1	62	7	7	7	7	7
19	4	4	5	5	5	41	0	0	1	0	1	63	-6	-6	-6	-7	-7
20	5	6	5	6	5	42	2	2	1	1	2	64	-6	-6	-5	-6	-6
21	6	7	6	6	7	43	2	2	2	2	1	65	-4	-5	-4	-5	-5
22	7	7	6	7	7	44	2	2	1	1	1	66	-4	-4	-4	-4	-5

Tabla N°3.7.- Datos de la cuarta semana.



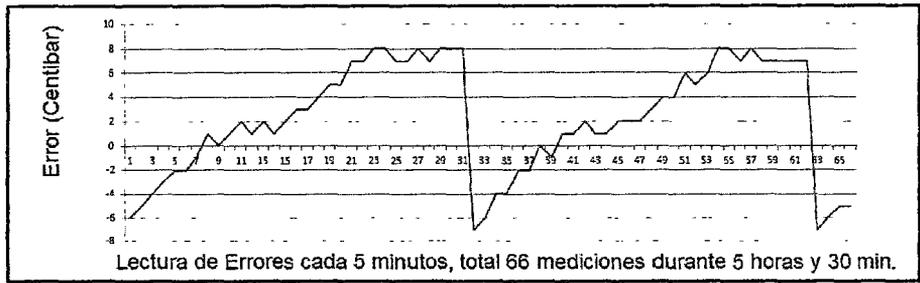


Figura N°3.51.- Quinto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 07 centibares.

B.2. ERROR MÁXIMO DE 05 CENTIBARES.- Se monitorea la humedad cada 5 minutos(ver Tabla N°3.8), en total cada 12 tomas es una hora, por lo tanto las 66 muestras, que demoran cinco horas y 30 minutos. La humedad meta es de 45 centibares y el Error Máximo es 05 centibares (Error Máximo =Humedad actual – Humedad meta).Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en: Figura N°3.52, Figura N°3.53, Figura N°3.54, Figura N°3.55 y Figura N°3.56.

Error (centibares) = Humedad actual (centibares) – 45centibares; Error Máximo = 5 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-4	-5	-5	-4	-5	23	6	5	6	5	6	45	5	4	5	4	4
2	-3	-3	-3	-4	-4	24	5	5	6	5	5	46	5	6	6	6	5
3	-2	-3	-3	-3	-2	25	5	6	6	5	5	47	5	5	6	6	6
4	-1	-2	-1	-1	-2	26	-4	-4	-5	-5	-4	48	5	6	6	6	5
5	-1	-1	0	0	0	27	-3	-4	-4	-3	-3	49	6	6	6	6	5
6	0	0	0	0	0	28	-2	-3	-2	-3	-2	50	6	6	5	5	5
7	0	0	0	1	0	29	-1	-1	-2	-1	-1	51	-5	-4	-4	-4	-5
8	0	0	2	1	2	30	-1	-2	-1	0	-1	52	-4	-3	-4	-3	-3
9	0	0	1	2	2	31	0	-1	1	0	0	53	-2	-2	-3	-2	-3
10	1	0	2	2	2	32	0	-1	1	1	1	54	-2	-2	-1	-2	-1
11	2	2	1	2	1	33	1	0	1	2	1	55	-1	-2	0	0	-1
12	1	1	1	1	2	34	1	0	1	2	2	56	0	-1	0	0	0
13	2	1	2	2	1	35	1	0	1	2	1	57	-1	-1	0	1	1
14	2	3	2	1	2	36	1	1	2	1	2	58	1	1	2	1	1
15	3	3	3	3	3	37	1	2	2	1	1	59	1	0	2	1	1
16	3	4	3	2	3	38	2	1	2	2	1	60	0	1	1	2	2
17	4	5	3	3	3	39	2	2	2	1	2	61	2	2	1	1	1
18	4	5	5	5	5	40	3	4	2	2	3	62	2	2	1	2	1
19	4	5	5	4	5	41	3	4	2	3	2	63	1	2	1	2	2
20	4	5	5	5	5	42	5	4	3	4	3	64	2	3	1	1	2
21	6	6	6	6	5	43	4	4	4	5	5	65	2	2	1	1	2
22	6	5	5	6	5	44	5	4	5	5	5	66	4	3	3	2	2

Tabla N°3.8.- Datos de la quinta semana.

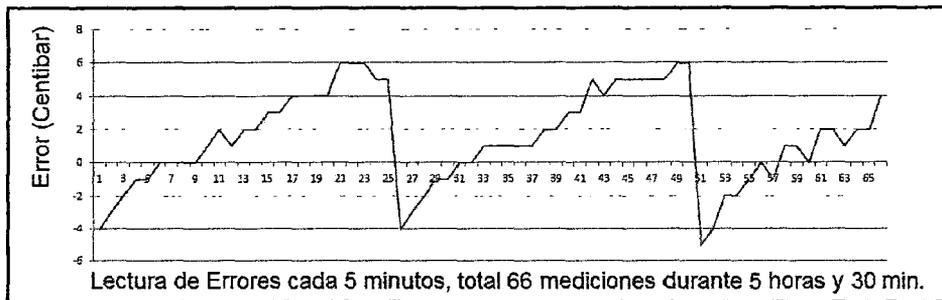


Figura N°3.52.- Primer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 centibares.

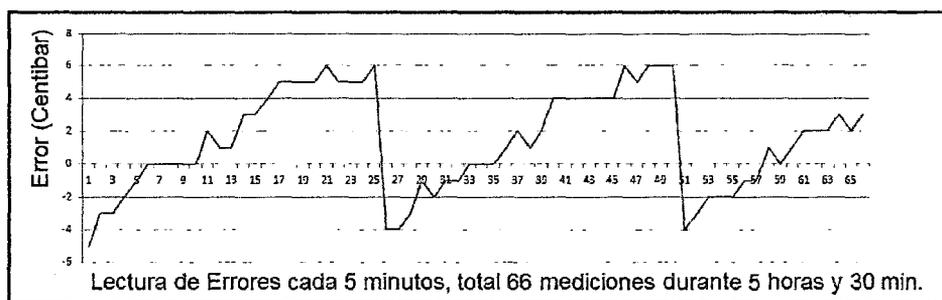


Figura N°3.53.- Segundo día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 centibares.

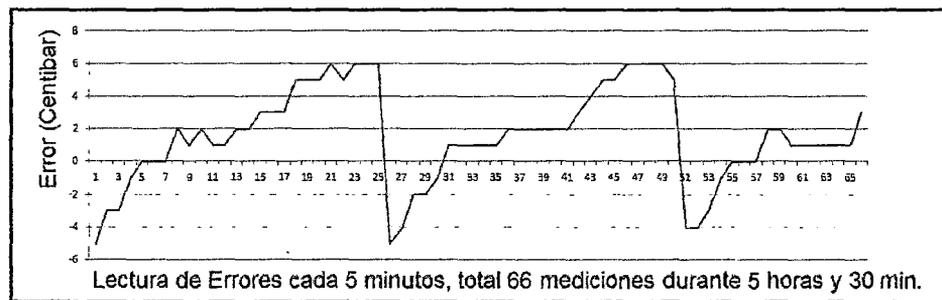


Figura N°3.54.- Tercer día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 centibares.

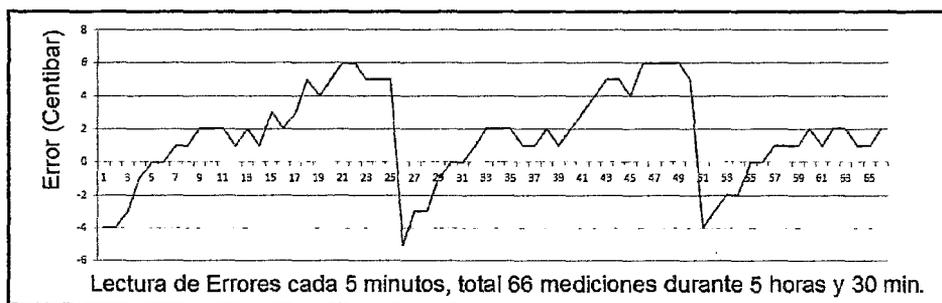


Figura N°3.55.- Cuarto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 centibares.

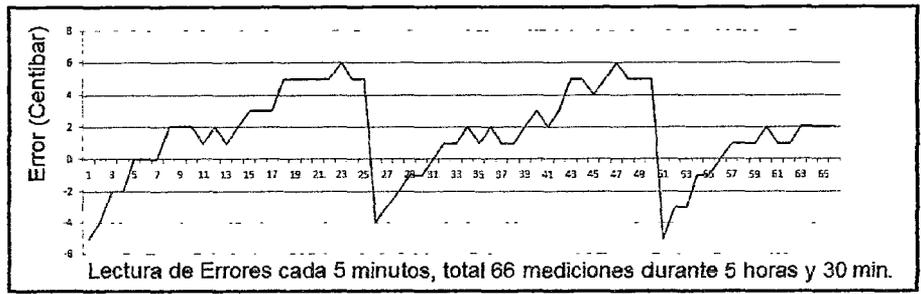
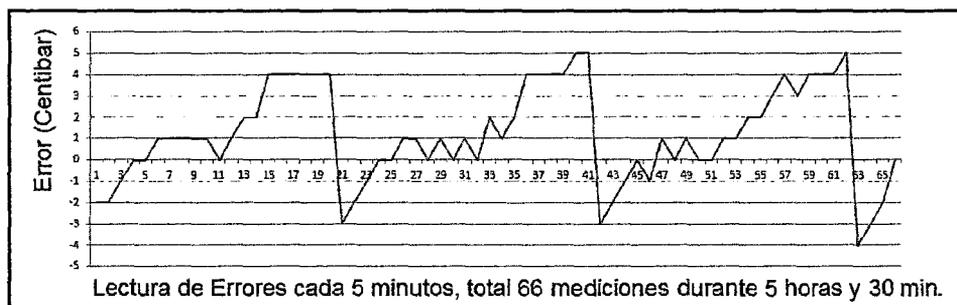
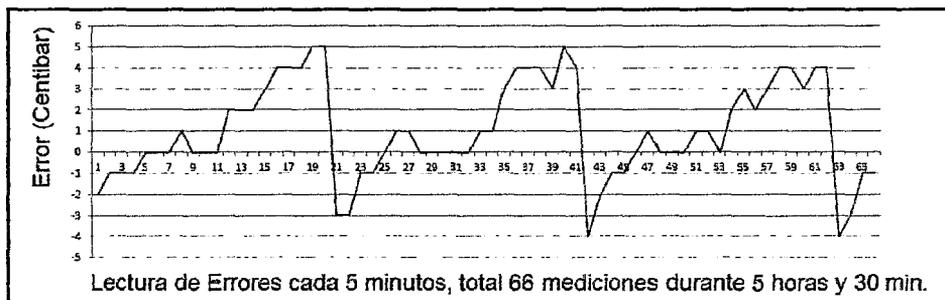
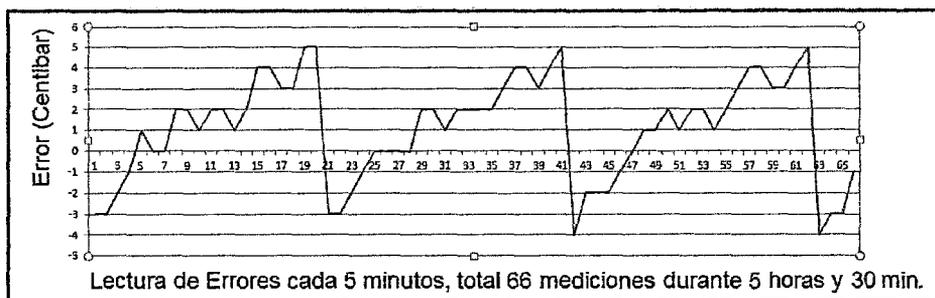
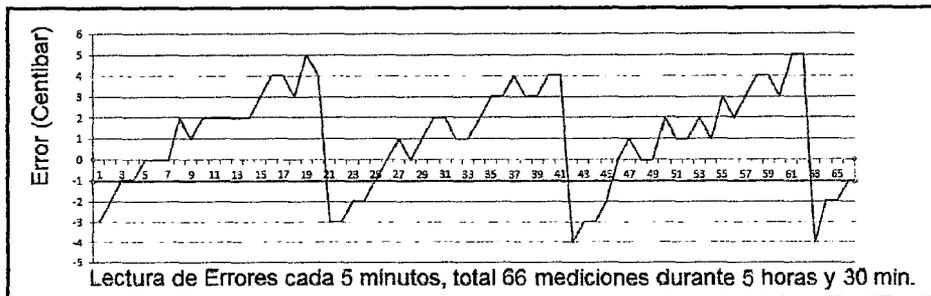


Figura N°3.56.- Quinto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 05 centibares.

B.3.-ERROR MÁXIMO DE 04 CENTIBARES.- Se monitorea la humedad cada 5 minutos(ver Tabla N°3.9), en total cada 12 tomas es una hora, por lo tanto las 66 muestras, que demoran cinco horas y 30 minutos. Se controla la humedad meta a 45 centibares y el Error Máximo es 04 centibares (Error Máximo =Humedad Actual – Humedad Meta).Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en: Figura N°3.57, Figura N°3.58, Figura N°3.59, Figura N°3.60 y Figura N°3.61.

Error (centibares) = Humedad actual (centibares)– 45centibares; Error Máximo = 4 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-3	-3	-2	-2	-3	23	-2	-2	-1	-1	-2	45	-2	-2	-1	0	-1
2	-2	-3	-1	-2	-2	24	-2	-1	-1	0	-1	46	0	-1	0	-1	-1
3	-1	-2	-1	-1	0	25	-1	0	0	0	-1	47	1	0	1	1	0
4	-1	-1	-1	0	0	26	0	0	1	1	1	48	0	1	0	0	1
5	0	1	0	0	0	27	1	0	1	1	0	49	0	1	0	1	1
6	0	0	0	1	0	28	0	0	0	0	0	50	2	2	0	0	1
7	0	0	0	1	1	29	1	2	0	1	0	51	1	1	1	0	1
8	2	2	1	1	0	30	2	2	0	0	1	52	1	2	1	1	0
9	1	2	0	1	0	31	2	1	0	1	1	53	2	2	0	1	1
10	2	1	0	1	1	32	1	2	0	0	1	54	1	1	2	2	1
11	2	2	0	0	1	33	1	2	1	2	1	55	3	2	3	2	3
12	2	2	2	1	1	34	2	2	1	1	1	56	2	3	2	3	3
13	2	1	2	2	1	35	3	2	3	2	3	57	3	4	3	4	4
14	2	2	2	2	2	36	3	3	4	4	3	58	4	4	4	3	3
15	3	4	3	4	4	37	4	4	4	4	4	59	4	3	4	4	3
16	4	4	4	4	4	38	3	4	4	4	3	60	3	3	3	4	4
17	4	3	4	4	4	39	3	3	3	4	3	61	5	4	4	4	5
18	3	3	4	4	3	40	4	4	5	5	4	62	5	5	4	5	5
19	5	5	5	4	5	41	4	5	4	5	5	63	-4	-4	-4	-4	-3
20	4	5	5	4	4	42	-4	-4	-4	-3	-3	64	-2	-3	-3	-3	-2
21	-3	-3	-3	-3	-3	43	-3	-2	-2	-2	-2	65	-2	-3	-1	-2	-1
22	-3	-3	-3	-2	-2	44	-3	-2	-1	-1	-2	66	-1	-1	-1	0	0

Tabla N°3.9.- Datos de la sexta semana.



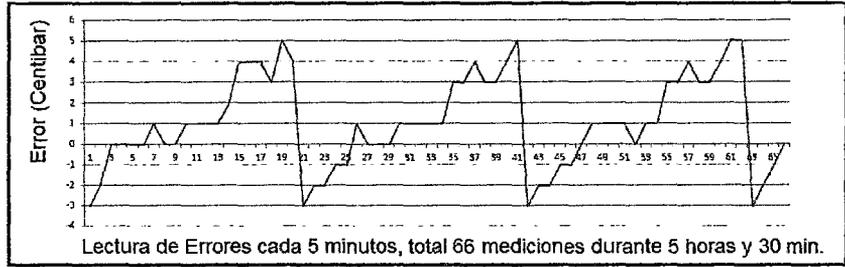


Figura N°3.61.- Quinto día. Humedad meta 45 centibares y Error Máximo 04 centibares.

C. HUMEDAD META A 50 CENTIBARES:

C.1.ERROR MÁXIMO DE 05 CENTIBARES.-Se monitorea la humedad cada 5 minutos (ver Tabla N°3.10), en total cada 12 tomas es una hora, por lo tanto las 66 muestras, que demoran cinco horas y 30 minutos. Se controla la humedad meta a 50 centibares y el Error Máximo es 05 centibares (Error Máximo =Humedad Actual – Humedad Meta). Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en: Figura N°3.62, Figura N°3.63, Figura N°3.64, Figura N°3.65 y Figura N°3.66.

Error (centibares) = Humedad actual (centibares)-50 centibares; Error Máximo = 5 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-4	-4	-4	-4	-5	23	7	7	7	6	6	45	7	6	6	7	7
2	-2	-2	-2	-2	-2	24	6	7	7	6	6	46	7	6	6	7	6
3	-1	-1	-1	-2	-1	25	6	7	7	6	6	47	6	6	6	6	7
4	-1	-1	-1	0	0	26	-5	-5	-5	-4	-5	48	7	7	7	6	7
5	0	0	0	0	0	27	-4	-4	-4	-4	-3	49	7	7	7	6	6
6	2	1	1	2	1	28	-2	-2	-2	-1	-2	50	7	7	7	6	6
7	1	1	1	1	1	29	-1	-1	-1	-1	0	51	-5	-4	-4	-5	-4
8	1	2	2	2	2	30	1	1	1	0	0	52	-4	-3	-3	-3	-4
9	2	1	1	2	1	31	2	1	1	2	2	53	-2	-3	-3	-3	-3
10	1	0	0	1	0	32	1	2	2	2	1	54	0	0	0	-1	-1
11	0	1	1	0	0	33	1	2	2	2	1	55	0	0	0	1	1
12	1	0	0	0	1	34	2	2	2	1	1	56	1	1	1	0	1
13	0	0	0	1	1	35	1	0	0	0	0	57	1	1	1	1	1
14	2	2	2	2	2	36	1	1	1	0	0	58	2	2	2	1	2
15	2	3	3	2	2	37	1	0	0	1	1	59	1	2	2	1	1
16	3	4	4	3	4	38	0	0	0	1	0	60	1	0	0	0	0
17	5	5	5	5	4	39	2	2	2	2	1	61	1	1	1	1	1
18	5	6	6	6	5	40	2	3	3	3	3	62	0	0	0	0	0
19	5	6	6	5	6	41	3	3	3	4	3	63	0	0	0	1	0
20	7	6	6	7	6	42	4	5	5	5	4	64	1	2	2	2	1
21	6	6	6	7	7	43	6	5	5	5	5	65	3	3	3	3	3
22	6	7	7	7	7	44	5	6	6	5	5	66	4	4	4	4	3

Tabla N°3.10.- Datos de la septima semana.

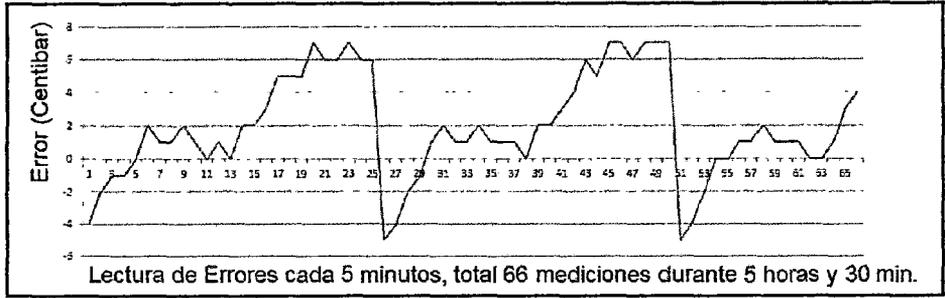


Figura N°3.62.- Primer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 centibares.

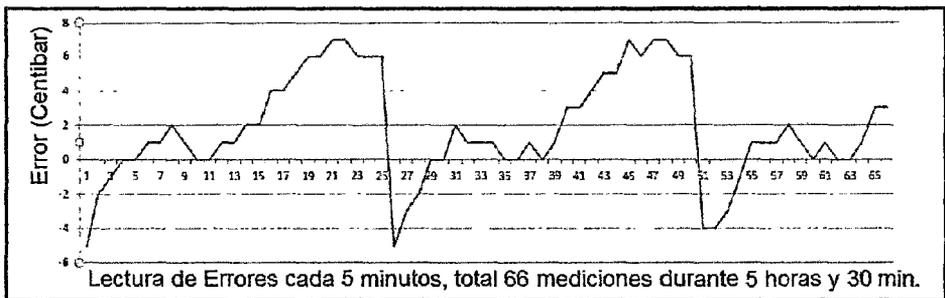


Figura N°3.63.- Segundo día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 centibares.

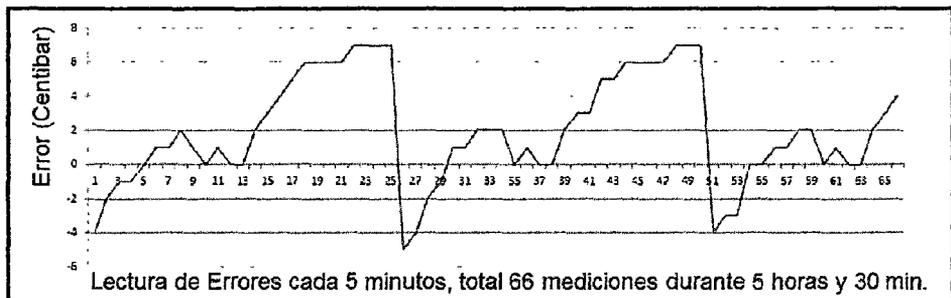


Figura N°3.64.- Tercer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 centibares.

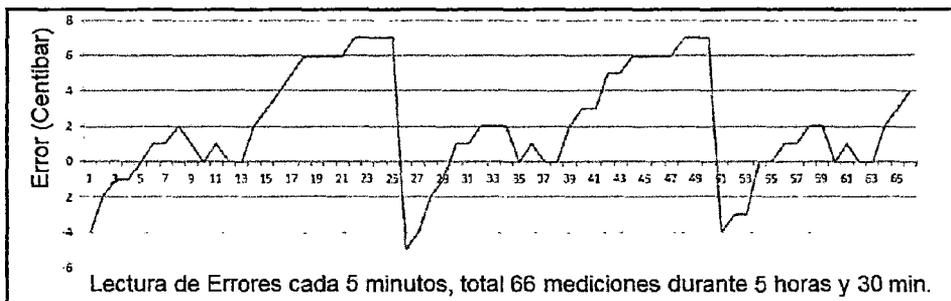


Figura N°3.65.- Cuarto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 centibares.

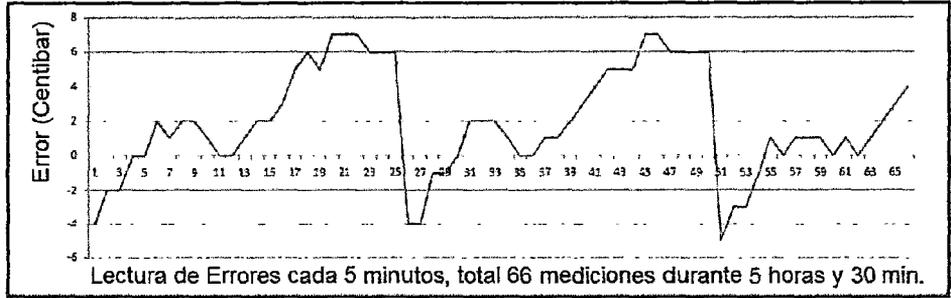


Figura N°3.66- Quinto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 05 centibares.

C.2.ERROR MÁXIMO DE 06 CENTIBARES.- Se monitorea la humedad cada 5 minutos (ver Tabla N°3.11), en total cada 12 tomas es una hora, por lo tanto las 66 muestras, que demoran cinco horas y 30 minutos. La humedad meta es de 50 centibares y el Error Máximo es 06 centibares (Error Máximo = Humedad Actual – Humedad Meta). Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en: Figura N°3.67, Figura N°3.68, Figura N°3.69, Figura N°3.70 y Figura N°3.71.

Error (centibares) = Humedad actual (centibares) – 50 centibares; Error Máximo = 6 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1	2	3	4	5		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-5	-3	-3	-3	-3	23	7	1	1	0	0	45	6	0	0	1	1
2	-2	-2	-1	-2	-2	24	7	0	0	0	0	46	6	1	2	2	2
3	-1	0	0	-1	0	25	6	0	1	0	0	47	6	2	2	3	2
4	0	0	1	1	0	26	-5	0	1	1	1	48	7	4	4	4	4
5	0	0	0	0	0	27	-3	1	0	1	1	49	6	4	5	4	5
6	1	1	1	0	1	28	-2	1	2	1	1	50	6	4	5	5	5
7	2	1	1	1	1	29	0	2	3	3	2	51	-4	5	5	6	6
8	2	0	0	0	0	30	0	4	4	4	4	52	-3	5	6	6	5
9	1	0	0	1	1	31	2	5	5	4	5	53	-3	5	5	5	6
10	0	2	2	2	2	32	2	4	5	4	4	54	0	-4	-5	-5	-5
11	1	2	2	3	2	33	2	5	6	5	5	55	1	-3	-2	-3	-2
12	1	3	4	3	3	34	1	5	5	6	6	56	0	-1	-1	-2	-1
13	1	5	4	5	4	35	1	5	5	5	6	57	2	-1	-1	-1	-1
14	1	5	5	4	4	36	1	-4	-5	-4	-4	58	1	1	1	0	0
15	3	6	5	6	6	37	1	-2	-3	-3	-2	59	2	0	0	1	1
16	4	6	6	6	5	38	0	-1	-2	-2	-2	60	0	0	0	1	0
17	4	6	6	5	6	39	2	0	0	0	0	61	0	1	0	0	0
18	5	-4	-5	-4	-4	40	3	0	1	1	1	62	1	1	0	1	1
19	5	-2	-3	-2	-2	41	3	1	1	0	0	63	0	1	0	1	0
20	7	-1	-1	-2	-2	42	5	0	1	1	1	64	2	1	2	2	1
21	6	0	-1	-1	0	43	5	1	0	0	1	65	3	3	2	3	2
22	6	0	0	1	1	44	6	1	0	1	0	66	3	3	4	4	4

Tabla N°3.11.- Datos de la octava semana.

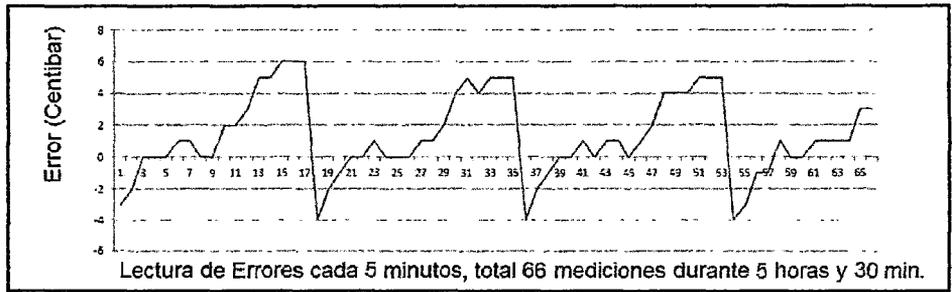


Figura N°3.67.- Primer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 centibares.

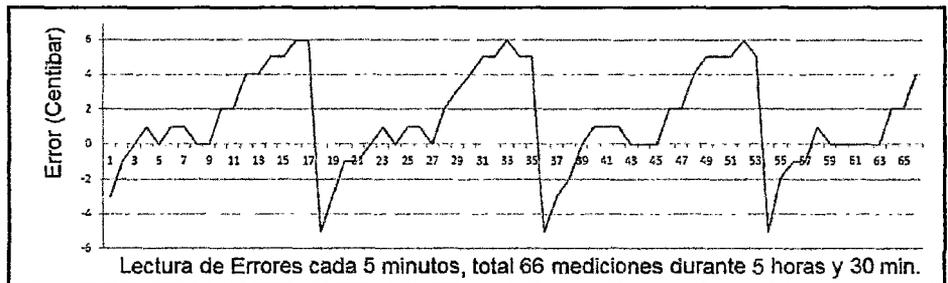


Figura N°3.68.- Segundo día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 centibares.

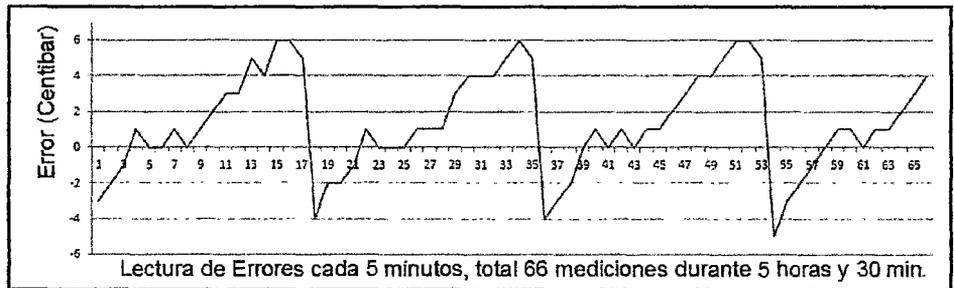


Figura N°3.69.- Tercer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 centibares.

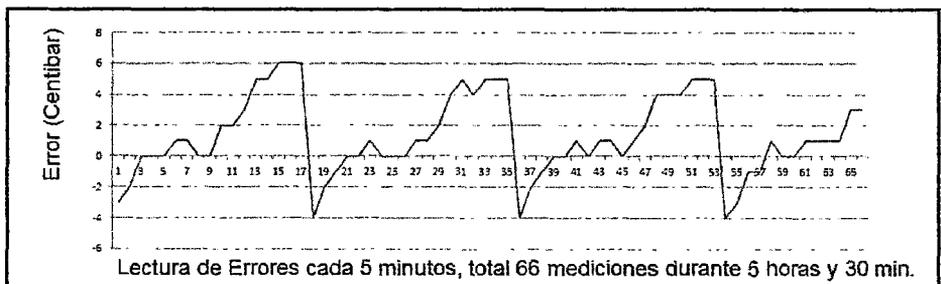


Figura N°3.70.- Cuarto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 centibares.

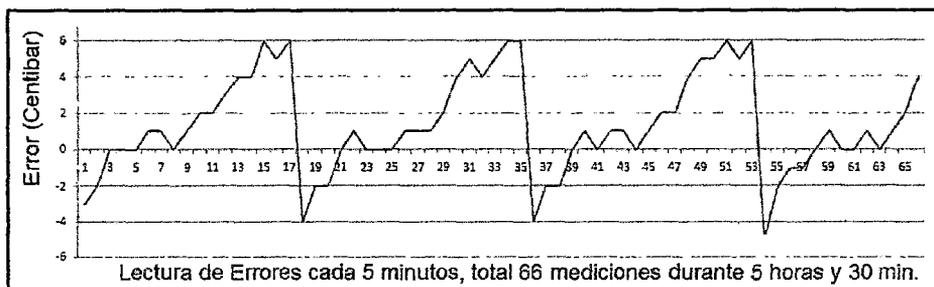


Figura N°3.71.- Quinto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 06 centibares.

C.3. ERROR MÁXIMO DE 04 CENTIBARES.- Se monitorea la humedad cada 5 minutos (ver Tabla N°3.12), en total cada 12 tomas es una hora, por lo tanto las 66 muestras, que demoran cinco horas y 30 minutos. La humedad meta es de 50 centibares y el Error Máximo es 04 centibares (Error Máximo = Humedad Actual – Humedad Meta). Se repite cinco veces, sus respectivos gráficos se puede ver en: Figura N°3.72, Figura N°3.73, Figura N°3.74, Figura N°3.75 y Figura N°3.76.

Error (centibares) = Humedad actual (centibares) – 50 centibares; Error Máximo = 4 centibares																	
N°	Días					N°	Días					N°	Días				
	1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to		1er	2do	3er	4to	5to
1	-2	-2	-2	-3	-2	23	3	4	4	3	4	45	-1	-1	0	0	-1
2	-1	-1	-2	-2	-2	24	5	5	4	5	5	46	0	0	-1	-1	-1
3	-1	0	-1	-1	-1	25	5	5	5	4	47	-1	-1	0	-1	0	
4	-1	0	0	0	0	26	4	4	4	5	4	48	0	1	0	1	1
5	-1	0	-1	0	-1	27	5	5	4	5	5	49	0	0	0	1	1
6	1	1	1	0	0	28	-4	-4	-3	-3	-4	50	2	1	1	1	2
7	0	1	0	0	1	29	-3	-2	-3	-3	-3	51	3	3	3	4	4
8	2	2	1	1	1	30	-2	-2	-1	-2	-1	52	5	4	4	5	5
9	3	3	4	4	4	31	-1	0	0	-1	0	53	5	5	5	4	4
10	5	5	5	5	4	32	0	0	-1	-1	-1	54	5	4	5	4	4
11	4	5	5	4	4	33	-1	0	-1	0	-1	55	4	4	4	4	4
12	4	4	4	4	4	34	1	0	0	0	0	56	-4	-4	-4	-4	-3
13	4	5	4	5	4	35	0	0	0	0	1	57	-2	-3	-3	-3	-2
14	-3	-4	-3	-3	-3	36	2	2	2	1	2	58	-2	-2	-2	-2	-2
15	-2	-2	-2	-2	-2	37	3	4	4	4	3	59	-1	0	-1	-1	0
16	-1	-1	-2	-2	-2	38	5	5	4	5	5	60	-1	0	-1	0	-1
17	0	0	-1	0	-1	39	5	5	4	5	5	61	-1	-1	0	-1	0
18	0	0	0	0	-1	40	5	4	4	5	4	62	1	0	0	0	0
19	0	0	0	-1	-1	41	5	5	5	5	5	63	1	0	0	0	1
20	1	0	1	0	1	42	-3	-4	-3	-3	-4	64	2	2	2	2	3
21	1	1	0	1	0	43	-2	-2	-2	-3	-2	65	3	3	4	3	4
22	1	1	1	1	2	44	-2	-1	-1	-1	-1	66	4	5	5	4	4

Tabla N°3.12.- Datos de la novena semana.

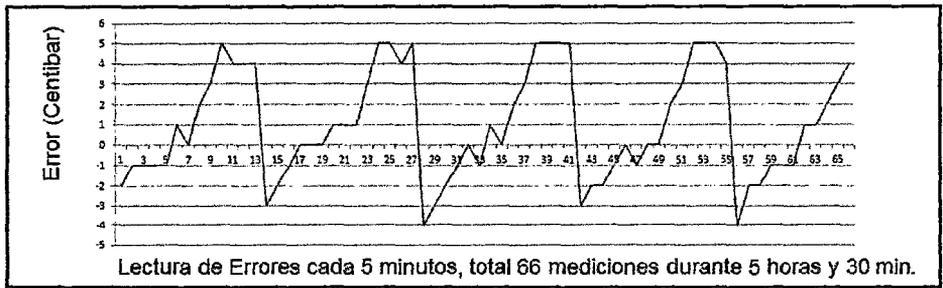


Figura N°3.72.- Primer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 centibares.

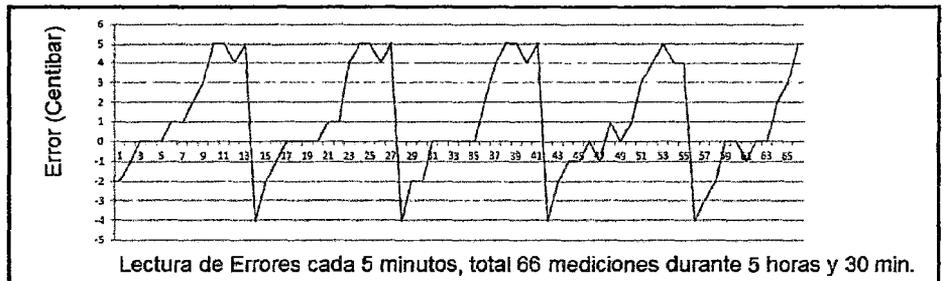


Figura N°3.73.- Segundo día. Humedad meta 50 centibares y Error 04 centibares.

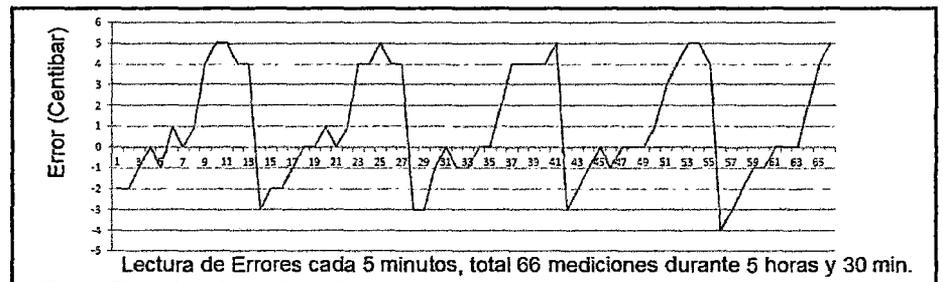


Figura N°3.74.- Tercer día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 centibares.

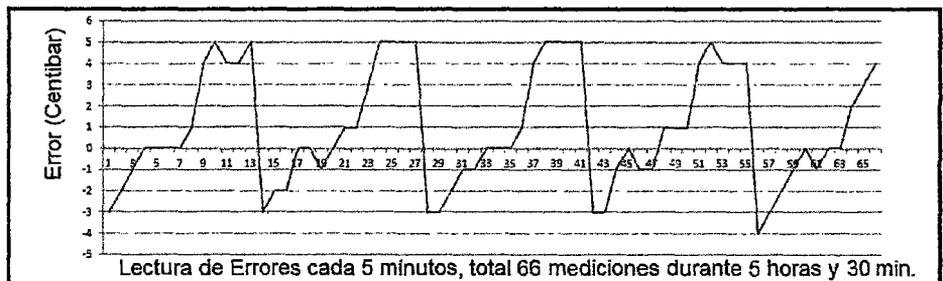


Figura N°3.75.- Cuarto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 centibares.

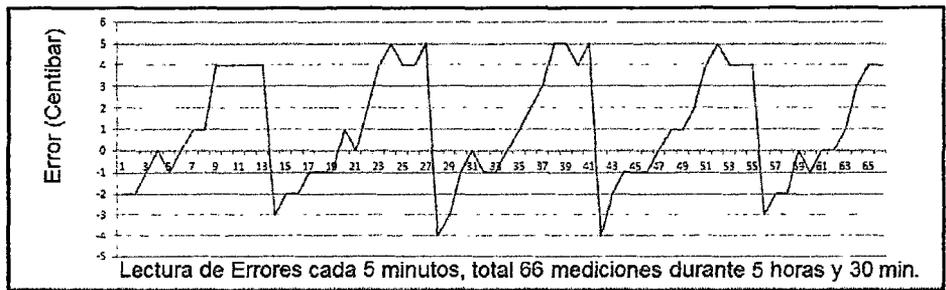


Figura N°3.76.- Quinto día. Humedad meta 50 centibares y Error Máximo 04 centibares.

D. CONSUMO DE AGUA DE UNAPLANTA DE MAIZ.- La cantidad de agua que consumió una planta de maíz se puede ver en las tablas N°3.13, N°3.14 y N°3.15. Al disminuir el error máximo también disminuyó el consumo de agua, para las humedades metas (en centibares) de 40, 45 y 50.

HUMEDAD META 40 CENTIBARES			
ERROR MÁXIMO (Centibares)	DIAS	CONSUMO DE AGUA(Litros)	PROMEDIO DE CONSUMO DE AGUA (Litros)
9	1	0,181	0,181
	2	0,191	
	3	0,187	
	4	0,171	
	5	0,175	
5	1	0,149	0,152
	2	0,155	
	3	0,162	
	4	0,151	
	5	0,143	
4	1	0,151	0,146
	2	0,155	
	3	0,146	
	4	0,136	
	5	0,142	

Tabla N°3.13.- Consumo de agua para humedad meta de 40 centibares.

HUMEDAD META 45 CENTIBARES			
ERROR MÁXIMO (Centibares)	DÍAS	CONSUMO DE AGUA(Litros)	PROMEDIO DE CONSUMO DE AGUA (Litros)
7	1	0,151	0,154
	2	0,153	
	3	0,151	
	4	0,152	
	5	0,163	
5	1	0,129	0,149
	2	0,159	
	3	0,148	
	4	0,157	
	5	0,152	
4	1	0,131	0,136
	2	0,132	
	3	0,145	
	4	0,133	
	5	0,139	

Tabla N°3.14.- Consumo de agua para humedad meta de 45 centibares.

HUMEDAD META 50 CENTIBARES			
ERROR MÁXIMO (Centibares)	DÍAS	CONSUMO DE AGUA(Litros)	PROMEDIO DE CONSUMO DE AGUA (Litros)
5	1	0,155	0,135
	2	0,115	
	3	0,132	
	4	0,139	
	5	0,134	
6	1	0,129	0,127
	2	0,145	
	3	0,122	
	4	0,114	
	5	0,125	
4	1	0,114	0,117
	2	0,119	
	3	0,136	
	4	0,109	
	5	0,107	

Tabla N°3.15.- Consumo de agua para humedad meta de 50 centibares.

E. CONSUMO TEORICO DE AGUA DE UNAPLANTA DE MAIZ.-En el Figura N°3.77 se puede ver interpolando que para una altura de 3276 msnm le corresponde un ETP de 2.724 mm/día.

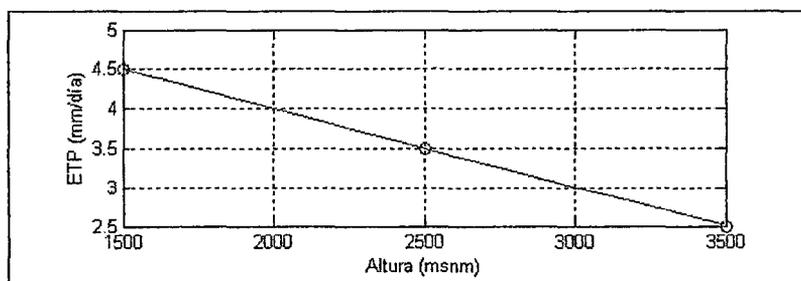


Figura N°3.77.- Evapotranspiración potencial versus altura sobre el nivel del mar.
Fuente: Pronamach y Servicio Holandés de Cooperación y Desarrollo.

Con los coeficientes de cultivo (K_c) se puede determinar los requerimientos de agua de un cultivo en cada etapa de su ciclo vegetativo (ver en la Tabla 3.17). El K_c es un factor que corrige la evapotranspiración potencial referencial para un cultivo diferente al pasto cultivado, tomando en cuenta características específicas del cultivo y las etapas de su ciclo vegetativo.

CULTIVO	K_c	CULTIVO	K_c
Alfalfa	0,90	Frijol verde	0,75
Arveja	0,89	Lechuga	0,70
Avena	0,80	Lenteja	0,79
Berenjena	0,82	Maíz dulce	0,88
Caña de azúcar	0,95	Maíz grana	0,83
Cebada	0,80	Papa	0,83
Cebolla seca	0,90	Pasto	1,00
Col	0,86	Rábano	0,73
Espinaca	0,73	Trébol	1,00
Frijol seco	0,87	Trigo	0,80

Tabla N°3.16.-Niveles de requerimiento hidrico K_c .
Fuente: Calculados con ayuda de las tablas de FAO²⁷.

2.1 ²⁷ FAO. Evapora transpiracion del cultivo. Guías Para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos. Publicación No. 56; 1990. Disponible en: URL: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/2/CI41C/1/material_alumnos/ET_de_cultivo.pdf. Consultado Julio 30, 2012.

Lámina de Agua.- es la cantidad de agua, expresada en altura de lámina de agua por metro cuadrado de superficie de suelo, se denomina lámina de agua requerida. Por ejemplo, una lámina de agua requerida de 50 milímetros de agua corresponderá a:

$$50 \text{ milímetros} = 0,05 \text{ metros} = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 50 \text{ litros}/\text{m}^2$$

La Demanda de Agua de la Parcela se puede determinar ahora la demanda de agua a nivel de la parcela y a nivel del sistema. La demanda de agua de una parcela con determinado cultivo está dada por:

$$L_n = (ETP) \times (K_c)$$

Donde: L_n = Lámina neta (mm/día)

ETP = Evapotranspiración potencial referencia 1 (mm/día)

K_c = Coeficiente de cultivo promedio de las plantas

Entonces para el maíz es $K_c = 0.88$, el valor de L_n será:

$$L_n = (ETP) \times (0.88) = (2.724 \text{ mm/día}) \times (1.00) = 2.724 \text{ mm/día.}$$

Entonces en cada día el maíz requiere 2.397 litros/m²

En la "Jornada de Capacitación UNALM – AGROBANCO", La Libertad - Perú - 2010,-se comenta que la cantidad de plantas por hectárea es aproximadamente de 20 plantas en cada metro cuadrado. Cada planta requiere 0.359 litros en un día. Considerando la eficiencia del sistema de riego por gravedad sin apoyo técnico es de 30%, que es lo más generalizado en el valle de Pampas (ver en la Tabla 3.17), entonces 30% es igual 0.359 litros por día por lo tanto el sistema de riego por gravedad requiere 1.1985 litros por día.

Sistema de riego	Eficiencia
Goteo	85-95%
Aspersión	65-85%
Gravedad	30-70%

Tabla N°3.17.- Eficiencia de los sistemas de riego¹⁸

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Cuando la humedad está subiendo hasta llegar a cuantificar (error máximo), al dar la orden contraria para que reduzca la velocidad, hay un retardo de aproximadamente 5 minutos, durante este tiempo la humedad sigue aumentando llegando a sobrepasar por encima del error máximo en un centibar. Igual ocurre en sentido contrario, hay un retardo de 5 minutos pero después responde con mayor rapidez. Al reducir el error máximo dicho retardo permanece casi igual, dejando entender que este retardo depende de la configuración de la tierra que rodea la raíz.

La frecuencia de riego aumenta al disminuir el error máximo, prácticamente es directamente proporcional, también aumenta la frecuencia del riego al aumentar la humedad meta o humedad programada.

La señal de alarma lo genera la tarjeta de sonido de la computadora, y es pulsante, para que sea reconocido inmediatamente.

La señal de alarma se genera por dos motivos, cuando el sistema deja de estar interconectado y cuando la humedad en la raíz ha sobrepasado en el doble al error máximo, tanto en el modo regando como en el modo no regando.

Existen dos tipos de retardos, uno por la configuración de la tierra de cultivo y el otro por que el sistema lectura datos cada 5 minutos, pero como es un proceso lento no genera problemas.

Existe doble monitoreo de la cantidad de agua que está llegando a la raíz del maíz, el primer monitoreo es el que realiza el modulo remoto, pero el modulo remoto también envía permanentemente el estado del riego hacia la unidad de supervisión.

La programación de la unidad remota solo lo realiza el personal autorizado, debe conocer las dos claves: La clave pública, que puede ser el número del DNI del usuario y otra clave privada compuesta de cuatro dígitos.

4.2. DISCUSIÓN

El tensiómetro de humedad del suelo es un sensor lento, respecto a los sensores de humedad capacitivos y resistivos, sin embargo cumple las expectativas.

Para aplicar apropiadamente los sensores de humedad del suelo, primero se debe uniformizar el terreno de cultivo de tal manera que en todos los puntos tenga aproximadamente el mismo comportamiento.

En el presente trabajo la unidad supervisora es un observador, solo monitorea y presenta la situación del sistema de riego, como el tensiómetro está en un lugar remoto, debe tener una muy buena autonomía energética y solo debe informar a la unidad supervisora para que ordene a otra unidad distante de la unidad de monitoreo y control; Esta unidad distante será el encargado de ordenar a la electroválvula que se active o se desactive. Esta opinión es porque la electroválvula y el sensor de humedad del suelo generalmente están en lugares distantes y diferentes.

Utilizar LabVIEW solo es viable en proyectos que generen recursos que puedan cubrir su costo, es decir proyectos grandes; las unidades productivas andina por lo general son pequeñas o medianas; por lo tanto sería mejor programar con lenguaje C o Basic.

CONCLUSIONES

El tiempo de retardo es de 5 minutos (Se puede considerar 10 minutos, si consideramos adicionalmente al periodo de muestreo de 5 minutos), desde que se da la orden a la electroválvula para que deje o no deje pasar el agua de riego hasta que el sensor de humedad detecte el cambio; por lo tanto está bien monitorear cada 5 minutos la humedad en la raíz del maíz.

También el periodo de funcionamiento de la electroválvula debe ser mayor que el doble del máximo tiempo de retardo, es decir mayor de 5 minutos y para mayor seguridad mayor de 10 minutos. El periodo de funcionamiento de la electroválvula es regulado con la asignación del error máximo ($\text{Error Máximo} = \text{Humedad Actual} - \text{Humedad Meta}$).

El transmisor XBee es el apropiado para el sistema propuesto porque tiene un consumo mínimo, y como el módulo remoto siempre estará ubicado en lugares descampados y rurales, que por lo general no disponen de fuentes de energía eléctrica. Con la tecnología XBee la autonomía energética se soluciona con un panel solar.

El sistema de seguridad permite programar a la unidad remota solo por personal autorizado aunque no es 100% seguro, permite un filtro inicial y suficiente para dar una seguridad adecuada, con una pequeña batería mantiene almacenado la información de las claves y del monitoreo de la humedad.

RECOMENDACIONES

Continuar la investigación con equipos Open Source, como: Arduino, Beagle, etc., para bajar los costos, debido a que por ejemplo depender de LabVIEW es costoso, para unidades agrícolas ubicadas sobre los 3.000 msnm, que no son altamente productivas como lo son terrenos agrícolas de la costa Peruana.

Para saber si la planta de maíz, está respondiendo deberíamos utilizar los equipos que monitorean permanentemente el estado de la planta observando directamente el estado de una de sus hojas; pero indirectamente podemos ver el estado de la planta observando el diámetro del tallo y la altura de la planta, aunque son variables muy lentas

Para aumentar la eficiencia en el riego por goteo, faltaría incluir en la investigación otras variables como: La presión en el agua, más de dos tensiómetros, temperatura del medio ambiente etc. y También, otra variable sería conocer con mayor detalle el consumo de agua del maíz en las diversas etapas de su periodo vegetativo, que varía continuamente.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1]. Proyecto Intercambio de Experiencias de Riego por Aspersión, en Zonas de Sierra del Perú. (2001) "Viabilidad del Riego por Aspersión en la Sierra del Perú", IPROGA 2000: Lima Perú.
- [2]. J. Enciso, D. Porter, X. Périès. (2007) Uso de Sensores de Humedad del Suelo para Eficientizar el Riego; Sistema Universitario Texas A&M; Estados Unidos Texas.
- [3]. E. Martin. (2010) Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo? The University of Arizona. Estados Unidos. Septiembre: az1220S.pdf.
- [4]. Plan Estratégico de Desarrollo Regional Concertado y Participativo de Huancavelica 2004-2015 (Julio 2008) "Visión y Esfuerzo Concertado y Participativo para el Desarrollo Humano de Huancavelica" Gobierno Regional de Huancavelica. Huancavelica Perú; Huancavelicapdf.
- [5]. J. Cruz. (Noviembre del 2009) Diseño de un Sistema de Riego por Goteo Controlado y Automatizado para Uva Italia. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Católica del Perú: Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú.
- [6]. M. Inzunza, M. Villa-Castorena, E. Catalán-Valencia, S. Mendoza-Moreno. (Abril – junio, 2006) Modelo para Estimar el Rendimiento de Maíz en Función de la Humedad del Suelo. Terra Latinoamericana, Vol. 24, Núm. 2, pp. 179-185 Universidad Autónoma Chapingo México.

- [7]. Agudelo, D. Castellanos, M. Medina. (2005) Automatización del Sistema de Riego para el Cultivo de Flores Tipo Exportación. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica, Bogotá D. C.
- [8]. Z. Varas. (2013) Diseño de un Sistema Electrónico para Riego de Césped de Jardín Empleando un Sensor de Humedad de Suelos y Comunicación Inalámbrica Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima Perú. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4510>.
- [9]. D. Alejandro. J. Vázquez. (2009) Automatización de un Invernadero con el PLC S7-200. Tesis de Licenciatura presentada a la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México.
- [10]. C. Eibar, V. Silva. (2012) Diseño e Implementación de un Sistema Automático de Control de Riego para la Estación Experimental - ESPOCH. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Tesis de Grado.
- [11]. M. Aillón. (Noviembre 2010) Diseño de un Sistema Scada de Control Automático de Temperatura y Humedad para los Lechos de Producción de Humus de Lombriz en la Empresa Bioagrotecsa Cía. Ltda. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Trabajo de Graduación. Ambato, Ecuador.
- [12]. F. Huapaya. (2011) Diseño de una Red de Sensores Inalámbrica para un Área de Cultivo Frutícola en una ONG. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima Perú. URL: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1087>.
- [13]. P. Ríos. (2010) Automatización del Riego en Sustratos. Colegio de Posgraduados Texcoco, Estado de México, México.

- [14].** P. Canché, M. Marín. (Diciembre 2010) Prototipo de Red de Sensores de Temperatura, Utilizando Módulos Xbee, para Control de Incendios. Universidad del Caribe Cancún, Quintana Roo, México.
- [15].** M. Goyal, J. Santaella y L. Rivera. Manejo de Riego Por Goteo. (2006) Capítulo V: El Tensiómetro: Su Uso, Instalación y Mantenimiento. , Universidad de Puerto Rico. Mayagüez, Puerto Rico. Consultado el 08-02-2013 en http://www.ece.uprm.edu/m_goyal/Gota2006/cap05tensiometro.pdf.
- [16].** Irrrometer Company. Tensiómetro Irrrometer: De baja tensión para medir humedad Infoagro Systems, Madrid, España. Consultado el 07-02-2013 en [http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=6439&tensiometro de baja tension para medir la humedad en sustrato turba compost tienda on line](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=6439&tensiometro_de_baja_tension_para_medir_la_humedad_en_sustrato_turba_compost_tienda_on_line).
- [17].** F. Capraro, S. Tosetti, D. Patiño, C. Schugurensky, F. Vita, R. Fullana, P. Campillo. (2009) Ambiente de Simulación, Monitoreo y Control Remoto de un Sistema de Riego por Goteo; Instituto de Automática (INAUT) - Universidad Nacional de San Juan; San Juan. Argentina.
- [18].** A. Lop, C. Peiteado. (Marzo 2005) Curso de riego para agricultores: Proyecto de autogestión del agua en la agricultura. WWF (World Wildlife Fund for Nature Fondo Mundial para la Naturaleza).
- [19].** J. Alborno, P. Lagos. (2008) Guía de Iniciación en LabView 7.1. Universidad de la Frontera. Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración: Departamento de Ingeniería Eléctrica. Chile: Temuco.
- [20].** A. Oyarce, Revisada por: Paul Aguayo, E. Martín. (Julio 2010) Guía del Usuario XBEE Series 1. Ingeniería MCI Ltda. Santiago, Chile. www.olimex.cl.

- [21].** C. García. (2010) Impacto de la Seguridad en Redes Inalámbricas de Sensores IEEE 802.15.4. Máster en Investigación en Informática. Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid España.
- [22].** PIC16F87XA Data Sheet 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers (2003) DS39582B Microchip Technology Inc. <http://www.microchip.com>.
- [23].** Microchip Technology Inc. (Enero 2002) MCP3204: 2.7V 4-Channel/8-Channel 12-Bit A/D Converters with SPI™ Serial Interface (paper: DS21298C 2002), EUA.
- [24].** SoilMoistureIndicators (Indicadores de Humedad de la tierra). (Enero 2013) California E. U. A. www.IRROMETER.com.
- [25].** Automation and Output Options (Opciones de Salida y Automatización). (Enero 2013) California E. U. A. www.IRROMETER.com.
- [26].** Digilnternational.(2008) XBee Multipoint RF Modules, Product Datasheet, www.digi.com USA.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

“SISTEMA REMOTO DE CONTROL Y MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA DEL MAÍZ CON RIEGO POR GOTEO EN EL VALLE DE PAMPAS”

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA - SISTEMAS

Bach, Wilber, LAZO CANCHANYA y Bach, Ronald Cristian, CAMPOS TICSE

RESUMEN: En el valle del río Upamayo el maíz utiliza riego por gravedad y con menos frecuencia riego por goteo de lazo abierto, generan baja productividad y gran derroche de agua para riego. Con el apoyo de un tensiómetro de humedad del suelo construimos una unidad remota para controlar la humedad en la raíz del maíz, basado en dos microcontroladores PIC y con un transmisor inalámbrico de tecnología XBee, si la humedad supera el límite permitido una electroválvula recibe órdenes de un Microcontrolador no deja pasar agua para riego, también se supervisa la humedad mediante una computadora personal y un instrumento virtual LabView. Se puede controlar y supervisar inalámbricamente el consumo de agua que requiere el maíz, que utilizan riego por goteo, ubicados en el valle de Pampas, con un retardo de 5 a 10 minutos desde que se da la orden al actuador y hasta que el sensor de humedad detecta el cumplimiento de la orden.

INTRODUCCION: La topografía sumamente accidentada de los Andes, y los procesos de deforestación y deterioro de la cubierta vegetal del suelo, disminuye la retención de agua que llega en forma de lluvia, originando escasez del recurso hídrico. Los efectos de las bajas eficiencias del riego en la sierra, como el riego por gravedad y el riego por goteo de lazo abierto, contribuyen especialmente en el proceso de erosión de los suelos, originando grandes volúmenes de sedimentos que con las lluvias son arrastrados hacia las partes bajas de las cuencas y la escasez de agua o el sobre riego producen maíz de mala calidad.

Las plantas requieren una cantidad adecuada de humedad, que varía de acuerdo a la especie y al estado de crecimiento o desarrollo, el suelo es capaz de almacenar una cantidad limitada de agua, y de ésta, solo una parte es utilizado para las plantas. No se encuentra estudio alguno de riego

por goteo automatizado sobre granos andinos en terrenos de cultivo sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar.

Las unidades agropecuarias en el valle del río Upamayo son pequeñas y están dispersos, un mismo propietario tiene sus terrenos de cultivo en varios lugares distantes entre ellos, monitoreo y control de un sensor de humedad en la raíz de maíz con riego por goteo, la supervisión remota y las redes inalámbricas de sensores; son buenas opciones para incrementar la eficiencia en el uso del agua para riego. El control de lazo cerrado del riego por goteo logra un riego eficiente reponiendo permanentemente en la raíz del maíz la humedad requerida por las plantas.

PROBLEMA GENERAL: ¿Cómo se reduce el consumo de agua que requiere el maíz, que utiliza riego por goteo, ubicado en el valle de Pampas?

OBJETIVO: Diseñar un sistema que monitorea, controla y supervisa el consumo de agua que requiere la raíz del maíz, que utiliza riego por goteo, ubicado en el valle de Pampas?

HIPÓTESIS GENERAL: Monitoreando, controlando, y supervisando la humedad del suelo podemos reducir el consumo de agua que requiere el maíz, que utilizan riego por goteo en el valle de Pampas.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

A.- Mediante una unidad que utiliza microcontroladores y un tensiómetro de humedad del suelo, se puede controlar y monitorear la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo.

B.- Utilizando un instrumento virtual LabView se supervisa a distancia el funcionamiento del “Módulo de Monitoreo y Control” de la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo, para reducir el consumo de agua.

C.- Una red inalámbrica de sensores Xbee transmite adecuadamente los datos entre la “Unidad de

Monitoreo y Control" y la "Unidad de Supervisión", para reducir el consumo de agua que requiere el maíz con riego por goteo.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.- Consta de dos unidades, ver Figuras N°1N°2 y N°3.

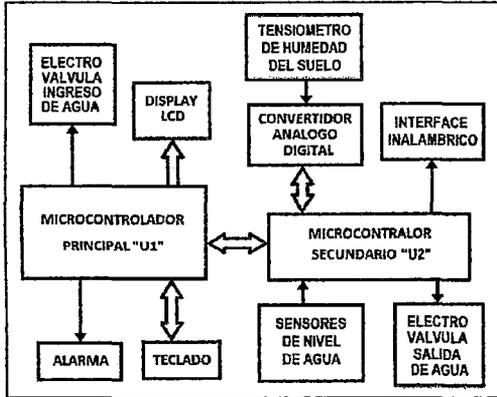


Figura N°1.- Unidad Remota.

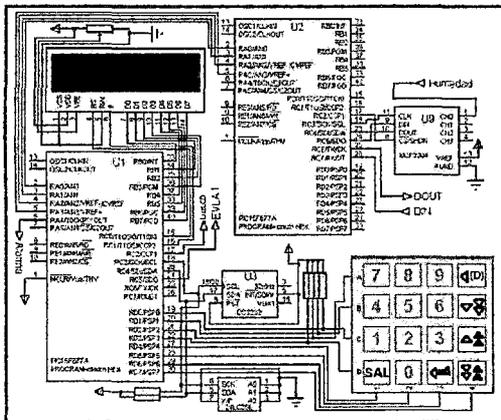


Figura N°2.- Módulo Remoto.

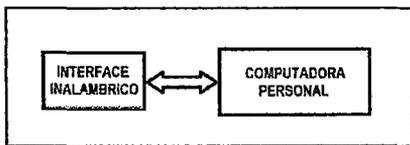


Figura N°3.- Unidad Supervisora.

El teclado de cuatro columnas por cuatro filas, contiene las siguientes teclas, cuyos significados están detallados en la Tabla N°1

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	CODIGO HEXADECIMAL
⏪	BORRAR, DIFERENCIAS	0x0E
⏩	AVANZAR	0x0D
⏴	RETROCEDER	0x0C
⏵	CAMBIAR VELOCIDAD	0x0F
⏪	ENTRAR	0x0B
SAL	SALIR	0x0A

Tabla N°1.- Significado de teclas especiales.

En el Diagrama de flujo del Microcontrolador (uC) secundario (ver Figura N°2), desde el uC principal llega una petición de lectura de humedad cada cinco minutos, el uC secundario responde con el envío de una lectura de humedad, el estado de los sensores de nivel y al mismo tiempo también envía inalámbricamente datos a la Unidad de Supervisión. Las principales subrutinas en el módulo remoto se pueden ver en la Figura N°5; la subrutina "LeerAlmacenarCada5Minutos", continuamente muestra en el display LCD (ver Figura N°4).

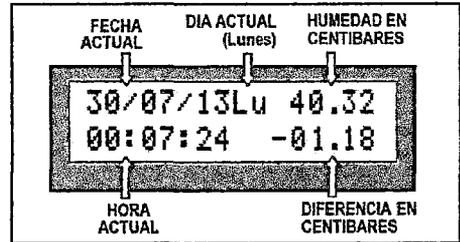


Figura N°4.- Mostrando humedad actual.

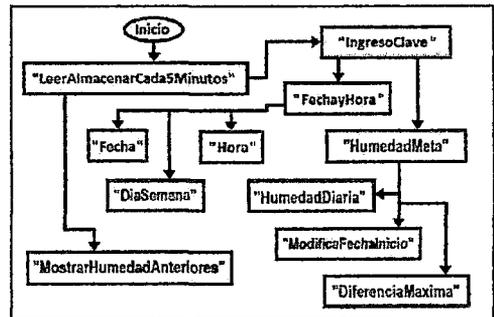


Figura N°5.- Subrutinas en el Microcontrolador "U1".

En la Figura N°6 en la posición de memoria 0000, dice que a las 00:00 horas del día 29 de julio de 2013, se registró la humedad de 46.8 centibares, siendo la humedad programada de 45 centibares, el registro se tomó el 15avo día del periodo vegetativo del maíz y el día de la semana actual es el séptimodía (07 = Domingo).

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN		MÉTODO
				VARIABLES	OPERACIÓN DE LAS VARIABLES	
"SISTEMA REMOTO DE CONTROL Y MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA DEL MAÍZ CON RIEGO POR GOTEO EN EL VALLE DE PAMPAS"	<p>1.2.1. PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo se reduce el consumo de agua que requiere el maíz, que utiliza riego por goteo, ubicado en el valle de Pampas?</p>	<p>1.3.1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Diseñar un sistema que monitoree, controle y supervise el consumo de agua que requiere la raíz del maíz, que utiliza riego por goteo, ubicado en el valle de Pampas?</p>	<p>2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Monitoreando, controlando, y supervisando la humedad del suelo podemos reducir el consumo de agua que requiere el maíz, que utilizan riego por goteo en el valle de Pampas.</p>	<p>1. VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <p>1.1. VOLUMEN DE AGUA (VOAG) Es la cantidad de agua que recibe la raíz del maíz. (Unidad = Litros)</p>	<p>VOAG = f(HURA, RERE, ERMA)</p>	<p>En esta investigación se hace uso del método ensayo-error e inductivo-deductivo.</p>
	<p>1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>A.- ¿Cómo controlar y monitorearía humedad en la raíz del maíz con riego por goteo, para reducir el consumo de agua?</p> <p>B.- ¿Cómo supervisar remotamente la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo, para reducir el consumo del maíz con riego por goteo?</p> <p>C.- ¿Cómo intercambiar inalámbricamente los datos de la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo, entre: La "Unidad de Monitoreo y Control" y la "Unidad de Supervisión"?</p>	<p>1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>A.- Diseñarun "Módulo de Monitoreo y Control" de la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo, para reducir el consumo de agua.</p> <p>B.- Construir un módulo de supervisión remota del funcionamiento del "Módulo de Monitoreo y Control" de la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo, para reducir el consumo de aguacon riego por goteo.</p> <p>C.- Construir un enlace inalámbrico entre: La "Unidad de MonitoreoyControl" y la "Unidad de Supervisión", para reducir el consumo de agua que requiere el maíz con riego por goteo.</p>	<p>2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>A.- Mediante una unidad que utiliza microcontroladores y un tensiómetro de humedad del suelo, se puede controlar y monitorear la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo.</p> <p>B.- Utilizando una instrumento virtual LabVIEW se supervisa a distancia el funcionamiento del "Módulo de Monitoreo y Control" de la humedad en la raíz del maíz con riego por goteo, para reducir el consumo de agua.</p> <p>C.- Unared inalámbrica de sensores Xbee transmite adecuadamente los datos entre la "Unidad de MonitoreoyControl" y la "Unidad de Supervisión", para reducir el consumo de agua que requiere el maízcon riego por goteo.</p>	<p>2. VARIABLES INDEPENDIENTES:</p> <p>2.1. HUMEDAD EN LA RAÍZ (HURA).-Es la presión que ejerce la raíz al tensiómetro pidiendo agua, es lo mismo que decir cantidad de agua que está presente en la tierra. (Unidad= Centibar)</p> <p>2.2. RETARDO DE RESPUESTA (RERE).- Es el tiempo que transcurre desde que se ordena cortar el flujo de agua hasta que el sensor de humedad detecta el cambio buscado. (Unidad = Minutos)</p> <p>2.3.-ERROR MÁXIMO (ERMA).- Es la máxima diferencia entre la Humedad Actual y la Humedad Programada (o Humedad Meta). (Unidad = Centibar)</p>		