



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



DISEÑO DEL PROTOTIPO DE SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN AUTOMATIZADO DE BAJO CONSUMO DE ENERGÍA PARA UNA PLANTACIÓN DE CACAÓ ASOCIADO CON PLÁTANO EN LA CUENCA ALTA DEL GUAYAS

Examen Complexivo, Componente Práctico

Propuesta de Informe Profesional

Previa a la obtención del título de:

MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Autor : Ing. Benjamín Borbor Córdova

GUAYAQUIL – ECUADOR
Año 2016

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida

A aquellas personas gracias a las cuales, he podido cumplir esta nueva meta para poder transitar por nuevas sendas

Al M.Sc. Carlos Villafuerte, por haberme impulsado para la elaboración de este proyecto de graduación

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por haberme dado los conocimientos necesarios para la culminación de esta especialidad.

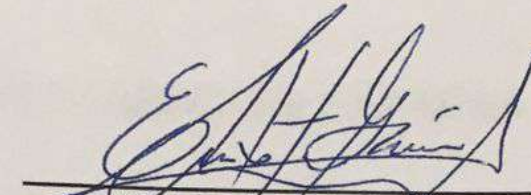
DEDICATORIA

A Dios, puesto que cada cosa que soy o que haya logrado, se la dedico completamente para el engrandecimiento de su nombre

A mi padre Ing. Víctor Borbor Bacilio (+), a mi madre Lcda. Piedad Córdova Vaca, a mis hermanos Mercy y Víctor que con su apoyo, a todo nivel y sin restricciones me han permitido llegar hasta este punto del camino

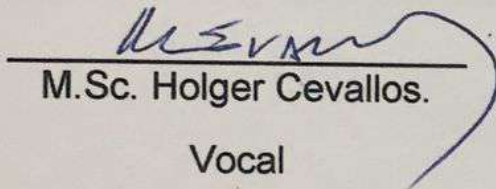
A mis hijos Antonio, Víctor y María, puesto que todo esfuerzo que hago es para contribuir a su bienestar y que les recuerde que siempre vale la pena seguir un ideal.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



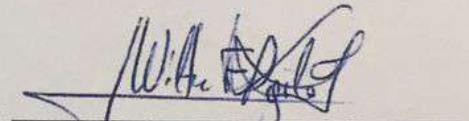
Ph.D. Sixto García.

Presidente



M.Sc. Holger Cevallos.

Vocal



Ph.D. Wilton Agila

Vocal

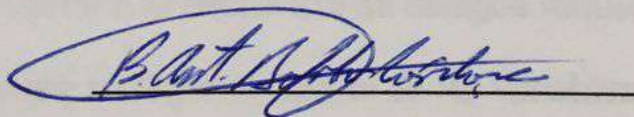


M.Sc. Efrén Herrera

Vocal

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este informe me corresponde exclusivamente a mí; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "B. Ant. Borbor Córdova", is written over a horizontal line.

Benjamín Antonio Borbor Córdova

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad diseñar un sistema de riego de bajo costo y consumo de energía para el cultivo frutal combinado con plantas forestales. El sistema permite el ahorro del agua de riego e insumos agrícolas en la fase de fertilización en una región que por su topografía irregular, hace muy difícil y costoso la instalación de un sistema de riego.

El sistema propuesto consta de hardware y software:

La parte del hardware se la logra con una tarjeta de adquisición, cuya señal de salida es amplificada por una serie de elementos disparadores de relé, de bajo costo.

El software que se utiliza para la programación del proceso es Labview, por su sencillez en cuanto a la secuencia de códigos requeridos.

Mediante el software se logra el control de las variables mediante una serie de sensores y al mismo tiempo se efectúa el monitoreo de las distintas variables y actuadores por parte del operador del sistema.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPITULO 1	
1.1 METODOLOGÍA PARA RESOLVER EL PROBLEMA PLANTEADO...1	1
1.1.1.1. FERTILIZACIÓN DE LOS MÓDULOS.....	2
1.1.1.2. REFRESCAMIENTO DEL CULTIVO.....	3
1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PASOS O ACTIVIDADES DE LOS COMPONENTES.....	4
1.3 ENTORNO GEOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
1.4. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE RIEGO.....	6
1.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE RIEGO.....	8
1.6 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO.....	11
1.7. VALORES PARA EL REGISTRO DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL.....	14

1.8	SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	14
1.9.1.	SEÑALES DE ENTRADA A LA TARJETA.....	17
1.9.2.	SEÑALES DE SALIDA DE LA TARJETA DE ADQUISICION.....	18
1.10	USO DE LABVIEW 2015 PARA LA PROGRAMACIÓN DEL PROCESO.....	20
1.10.1	ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES SUBROUTINAS VI.....	22
1.10.2	SUB VI 2: SISTEMA DE RIEGO POR MÓDULO.....	23
1.10.3	SUBROUTINA VI 3: APLICACIÓN DE FERTILIZANTE.....	27
1.10.4	SUBROUTINA VI 4: RIEGO DE REFRESCAMIENTO.....	28
1.11	COSTOS DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL.....	33
CAPITULO 2		
2.1	RESULTADOS OBTENIDOS.....	34
2.2.	CONCLUSIONES.....	36
2.3	RECOMENDACIONES.....	38
	BIBLIOGRAFIA.....	40

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

AI: Analog Input

DAQ: Data Adquisition

DO: Digital Output

GPS: Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)

HP1: Humedad promedio módulo 1

HP2: Humedad promedio módulo 2

HPM1: Humedad profunda Módulo 1 [%]

HPM2: Humedad profunda Módulo 2 [%]

HSM1: Humedad superficial Módulo 1 [%]

HSM2: Humedad superficial Módulo 2 [%]

P: Presión indicada por Presostato [Bar]

RAI: Riego Automático Inteligente

RV1: Relé Válvula Módulo 1

RV2: Relé Válvula Módulo 2

RVF: Relé válvula fertilización

Sub VI: Subrutina Virtual Instrument

TAMB: Temperatura ambiente (°C)

TDR: Time Domain reflectometry (reflectometria en dominio del tiempo)

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica de los módulos establecidos para el riego en curvas de nivel.

Figura 1.2. Diagrama esquemático del sistema de riego planteado.

Figura 1.3. Diagrama esquemático para la conexión del sistema de control de riego,

Figura 1.4. Estructura y subrutinas del programa de riego automatizado.

Figura 1.5. Modulo utilizado para el accionamiento de reles de potencia.

Figura 1.6 Diagrama de flujo para subrutina que controla nivel de agua en el pozo y presión del sistema de riego.

Figura 1.7. Subrutina que controla el estado de la bomba tomando en cuenta el nivel de agua en el pozo y la presión manométrica total de sistema.

Figura 1.8 Diagrama de flujo de la subrutina para control de riego en base al % de humedad del suelo en base a volumen (fuente propia)

Figura 1.9 Vista del panel frontal: Indicadores de Humedad Máxima y mínima.

Figura 1.10: Subrutina VI 2: discrimina cuál de los módulos será el primero en ser regado.

Figura 1.11 Diagrama de Flujo para la subrutina que gobierna la fertilización.

Figura 1,12 Subrutina VI 3: aplicación de fertilizante

Figura 1.13 Diagrama de flujo para el proceso de refrescamiento. (Fuente propia)

Figura 1.14. Subrutina VI 4. Ciclo de refrescamiento.

Figura 1.15. Indicadores para monitoreo del sistema de riego

Figura 1.16 Planta para la simulación de las variables por medio de sensores

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Señales de entrada en el sistema de riego
Tabla 1.2	Señales de salida del sistema de riego
Tabla 1.3	Costos del equipo requerido para el sistema de riego

INTRODUCCIÓN

Poca disponibilidad de agua en la cuenca Alta del Guayas, durante el periodo seco (que va desde mayo hasta diciembre) produce retraso en el crecimiento de la plantación, mortalidad de plantas de cacao y baja productividad. Los requerimientos de agua del cacao y del plátano como cultivos asociados alcanzan los 2500 mm por año, (lo que equivale a 2500 lt / m² y por año), mientras que la precipitación en la zona de estudio durante la estación lluviosa alcanza los 800 mm a 1000 mm, por lo tanto, se deben proveer 1700 mm en el periodo seco. El agua y fertilizante constituyen un rubro importante del cultivo y debe ser optimizado para evitar pérdidas económicas.

No existe un manejo técnico de los fertilizantes en cantidad y temporalidad durante el ciclo del cultivo, produciéndose un desperdicio de fertilizantes y potencial pérdida de nutrientes del suelo. La Compañía Agropecuaria y Forestal Piedad Mercedes, AGROPIEMER C.A., tiene como meta la implementación de 10 ha de cacao fino de aroma, en cultivo asociado en los 3 primeros años con plátano y posteriormente como cultivo agroforestal con especies maderables propias de la región (pechiche, cedro, Fernán Sánchez, laurel, caoba, entre otras especies endémicas)

Para ello, se ha definido como proyecto piloto el diseño del sistema de riego y fertilización, de bajo costo y de bajo consumo de energía para 1 ha. de cacao en asociación con plátano. (marzo 2016)

En base a un estudio comparativo desarrollado en México [1], con respecto a sistemas de riego automatizado en tiempo real, utilizando tres técnicas posibles, se decidió diseñar el presente sistema de fertilización y riego utilizando el método del sensor TDR (Time domain reflectometry sensor), puesto que resulta ser el más versátil y apropiado para el efecto. [2]

Por otro lado, se ha diseñado un prototipo para la automatización de un sistema de riego para múltiples cultivos, de la cual se toma como referencia el software de riego automático inteligente RAI, el cual sirve como modelo para generar un software propio implementado en un micro controlador de propósito general. Se describe el código desarrollado para el efecto. [3]

Problema de la Implementación

Existen pocas aplicaciones de tecnologías para el riego y la fertilización [4t], sino más bien, se encuentra mucha bibliografía con respecto al riego automatizado en invernaderos.

Esto se debe principalmente porque a pesar de que están disponibles tecnologías de automatización para el uso eficiente del agua y fertilizante estas, no son utilizadas por costos elevados y conocimiento especializado

que se requiere para el mantenimiento y operación de los equipos y en caso de la presencia de fallas en el sistema.

CAPÍTULO 1

1.1 METODOLOGÍA PARA RESOLVER EL PROBLEMA PLANTEADO.

Para resolver el problema planteado (optimización del consumo de agua en un sistema de riego de bajo costo y de sencillez de construcción) se proponen la siguiente metodología:

Diseñar el sistema de riego localizado para un lote de 1 ha, dividido en 2 módulos de 0.5 ha. cada uno, mediante micro aspersores con control de humedad del suelo antes del riego y riego automático de acuerdo a la condición inicial de humedad del suelo. La lectura de la humedad del suelo, se efectúa en forma manual por parte del operador del sistema en un reconocimiento semanal, mediante una toma simultánea a 2 diferentes profundidades: superficial a 15 cm y profunda a 40 cm, con 2 sensores de humedad en distintos puntos del lote en una trayectoria previamente determinada (aproximadamente a 3 m del tronco de cualquier planta en el

cultivo), esta lectura se ubica sobre el plano del lote, para formar una base de datos por medio del programa Q-gis para ubicación geográfica del punto. Además, incluye espesor de suelo agrícola, elementos principales, cota, tipo de suelo, datos que luego servirán para los cálculos de requerimientos de agua a ser entregados en cada módulo. La toma de 2 muestras a distintas profundidades es necesaria para asegurar una determinación del gradiente apropiado de la humedad del suelo o tensión matricial. Esta diferencia de humedad es la que determina cuando es recomendable iniciar el riego y la duración del riego, dado que las condiciones de presión y de caudal en el sistema se mantienen constantes. [5]

Mientras la humedad del suelo está dentro de ciertos parámetros de capacidad de campo, tomando en cuenta las características del suelo, el riego no se produce. Una vez alcanzado el umbral de mínima humedad aprovechable, se activa el sistema de riego del módulo respectivo, la secuencia de riego se produce de acuerdo al contenido de humedad del suelo detectado en promedio: aquellas zonas con lectura promedio más bajas tomadas en determinado módulo de riego con el menor contenido de humedad en base a volumen, son las que primero serán regadas por el sistema.

Además se tendrá control sobre el nivel de agua en el pozo o fuente de agua, si no se tiene el nivel mínimo, el sistema de riego se detiene hasta alcanzar nuevamente dicho nivel.

Diseñar un programa para el sistema de control y monitoreo mediante la aplicación Labview, el cual fue simulado utilizando una tarjeta de adquisición de datos Ni usb-6009. Así mismo diseñar los elementos tanto de control como de potencia necesarios en el sistema.

1.1.1. FERTILIZACIÓN DE LOS MÓDULOS

La fase de fertilización, ocurre al mismo tiempo que el riego, cuando se programe, de acuerdo al plan de fertilización foliar aplicado.[6]

El equipo para la fertilización consiste en un Venturi Irritec , de flujo parcial, con estrangulamiento del flujo principal para crear diferencia de presiones. Cuando se da la señal de fertilización, el contador de tiempo, determina el tiempo de funcionamiento de la válvula respectiva respecto de cada módulo.

1.1.2. REFRESCAMIENTO DEL CULTIVO

El sistema de riego tiene además la opción de conectarse automáticamente, cuando el sensor de temperatura ambiental, sobrepase el umbral máximo permitido. En esas condiciones, se aplicará un riego de refrescamiento de media hora al módulo 1 y luego media hora al lote 2. Se reparte el riego de refrescamiento entre los 2 módulos, puesto que el equipo de riego está diseñado para una capacidad máxima de bombeo para 0.5 ha, debido a que se ha pensado en un sistema de bajo costo para los usuarios.

En caso de ser necesario, se producirá un segundo riego de acuerdo al valor de temperatura ambiental alcanzado luego de dicho periodo, este proceso se puede repetir cuantas veces sea necesario para mantener la temperatura del cultivo dentro los rangos óptimos de temperatura para el cacao (a nivel del mar oscila entre 20 y 28). El valor que se utilizara para el inicio de riego es de 32 °C puesto que cuando el sol incide sin nubosidad, la temperatura puede llegar hasta los 35 °C. Con este procedimiento se aprovecha el calor latente de evaporación del agua para evitar este calentamiento excesivo.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PASOS O ACTIVIDADES DE LOS COMPONENTES.

La humedad del suelo a capacidad de campo, se mide mediante los sensores de humedad TDR [1], esta señal, se ingresa en la base de datos, que luego se requieren para las operaciones respectivas. Este sensor se selecciona puesto que de acuerdo a la referencia, es simple, de bajo costo relativo y de un resultado aceptable en cuanto al aumento de la producción.

Mediante el uso de un sensor de temperatura seleccionado [7] se puede determinar la temperatura del ambiente en el campo y por lo tanto monitorear dicha variable para mantenerla dentro de ciertos valores. Una vez sobrepasado el umbral, se produce el riego automático de refrescamiento de los módulos.

1.3 ENTORNO GEOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En la figura 1.1 se muestra el posicionamiento geográfico de los módulos planteados para el riego. Dichos hitos fueron marcados mediante GPS y ubicados luego sobre la hoja utilizando la aplicación para posicionamiento geográfico Qgis 2.10.1 Pisa. Los puntos se añadieron como puntos vectoriales a partir de datos en forma tabular, mientras que el plano, necesario para obtener las curvas de nivel, fue el correspondiente a la zona de estudio, a saber NIV-A3 San Vicente.dwg, al cual tuvo que ser convertida

a formato dxf para poder ser añadida, así mismo como un conjunto de datos vectoriales.

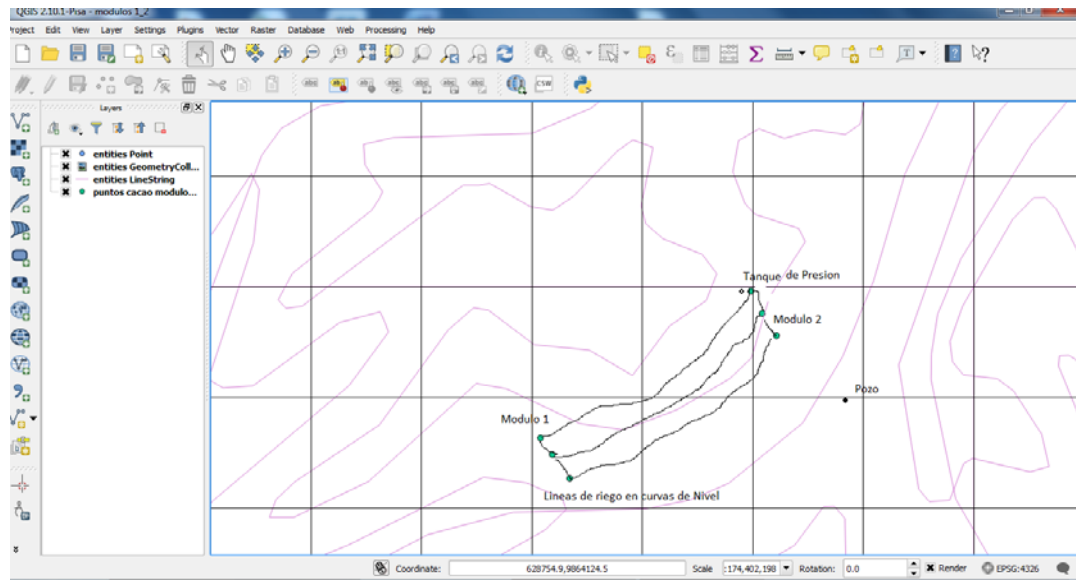
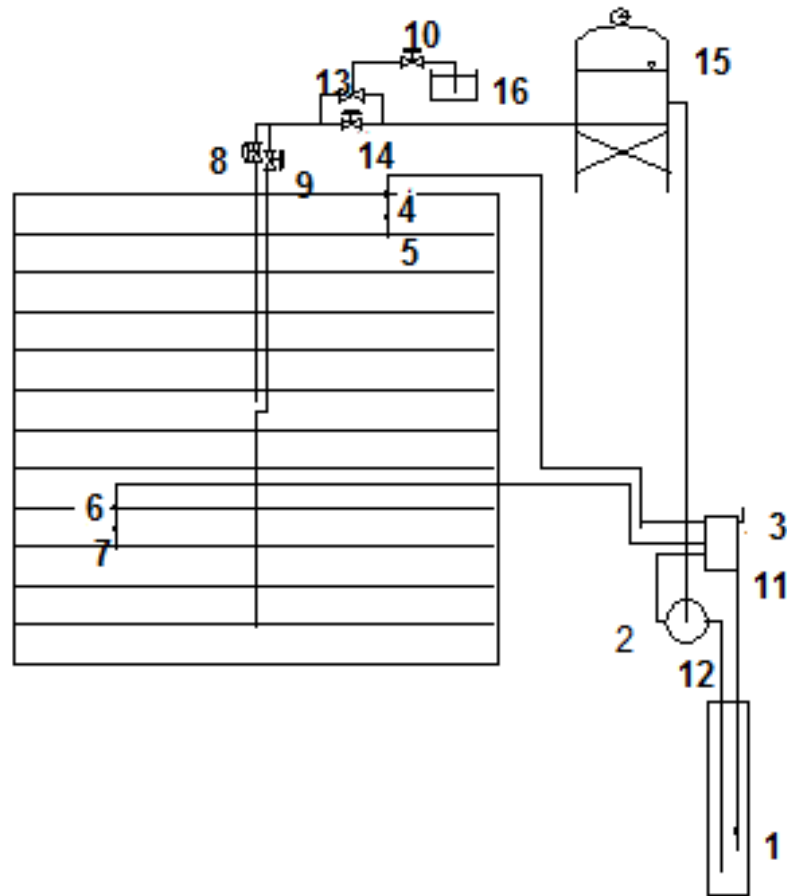


Fig. 1.1 Ubicación geográfica de los módulos establecidos para el riego en curvas de nivel.

1.4. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE RIEGO

El sistema (figura 1.2) mantiene una línea presurizada de agua gracias al presostato P, dentro de los límites determinados por el cálculo hidráulico respectivo, la cual se reparte a todo el lote de 1 hectárea, que se encuentra dividido en 2 módulos de 0.5 ha. cada uno. Esta superficie regada por modulo, se ha calculado, para mantener bajos costos de adquisición como de operación de los equipos (bajo consumo de energía requerido).



1. Nivel de Pozo (N)
2. Presion del sistema (P)
3. Sensor de temperatura (TAMB)
4. Sensor de Humedad Modulo 1 Superficial (HM1S)
5. Sensor de Humedad Modulo 1 Profundo (HM1P)
6. Sensor de Humedad Modulo 2 Superficial (HM2S)
7. Sensor de Humedad Modulo 2 Profundo (HM2P)
8. Valvula riego Modulo 1 (V1)
9. Valvula riego Modulo 2 (V2)
10. Valvula para fertilizacion (VF)
11. caja de control
12. Bomba centrifuga (BP)
13. Venturi del inyector
14. Valvula reductora de presion para fertilizacion
15. Tanque de presion con manometro
16. Deposito de fertilizante

Fig. 1.2 Diagrama esquemático del sistema de riego planteado.

Los medidores de humedad del suelo ubicados en forma móvil dentro de cada módulo (HSM1,HPM1 y HSM2 y HPM2), determinan el inicio y el fin del riego, según la humedad del suelo este dentro del rango considerado (entre capacidad de campo y % de humedad fácilmente removible) de la humedad en base a volumen. En el momento oportuno, dan la señal para la apertura de las válvulas V1 y V2, las cuales riegan respectivamente a los módulos 1 y 2.

En la figura 1.3 se muestra el diagrama esquemático para la conexión de los elementos seleccionados con la tarjeta de adquisición de señales (DAQ) para ejecutar el control y monitoreo del sistema de riego a diseñar.

Además, el termómetro junto a la caja de control, el cual monitorea permanentemente la temperatura ambiental del lote (TAMB), indicara cuando se debe iniciar el riego de refrescamiento, lo cual debe ocurrir, cuando la temperatura sobrepase los 32 °C. Este ciclo de refrescamiento, será también en secuencia: primero el módulo 1; el tiempo de refrescamiento será de ½ hr luego del cual, se cierra la válvula V1 y se abre la válvula V2, así mismo durante ½ hr. En este caso el monitoreo de la temperatura ambiental es permanente, por lo que el este ciclo se puede iniciar en cualquier momento.

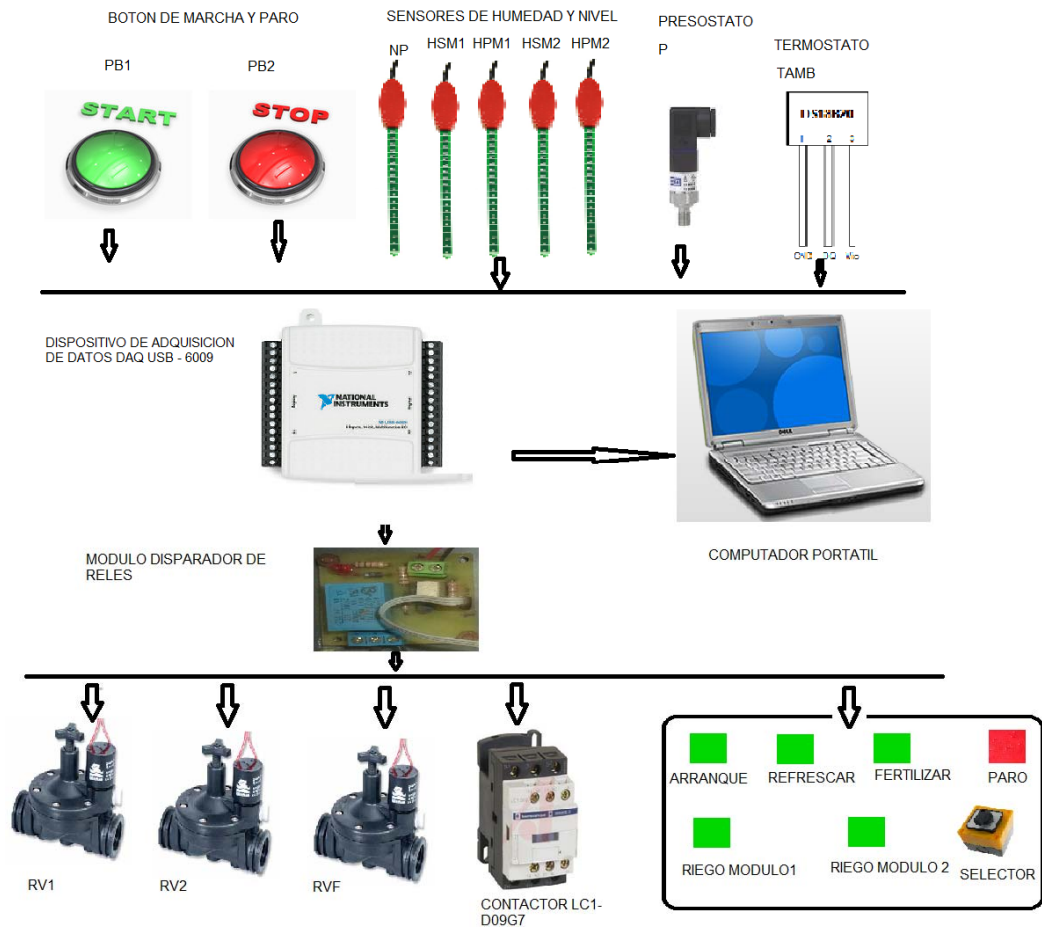


Fig. 1.3 Diagrama esquemático para la conexión del sistema de control de Riego

Otra opción es el inicio de la fertilización durante el riego, cuando se lo requiera, de acuerdo a los datos proporcionados por el experto: tiempo de fertilización, de acuerdo a la concentración de la solución utilizada para el efecto.

1.5. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL SISTEMA DE RIEGO

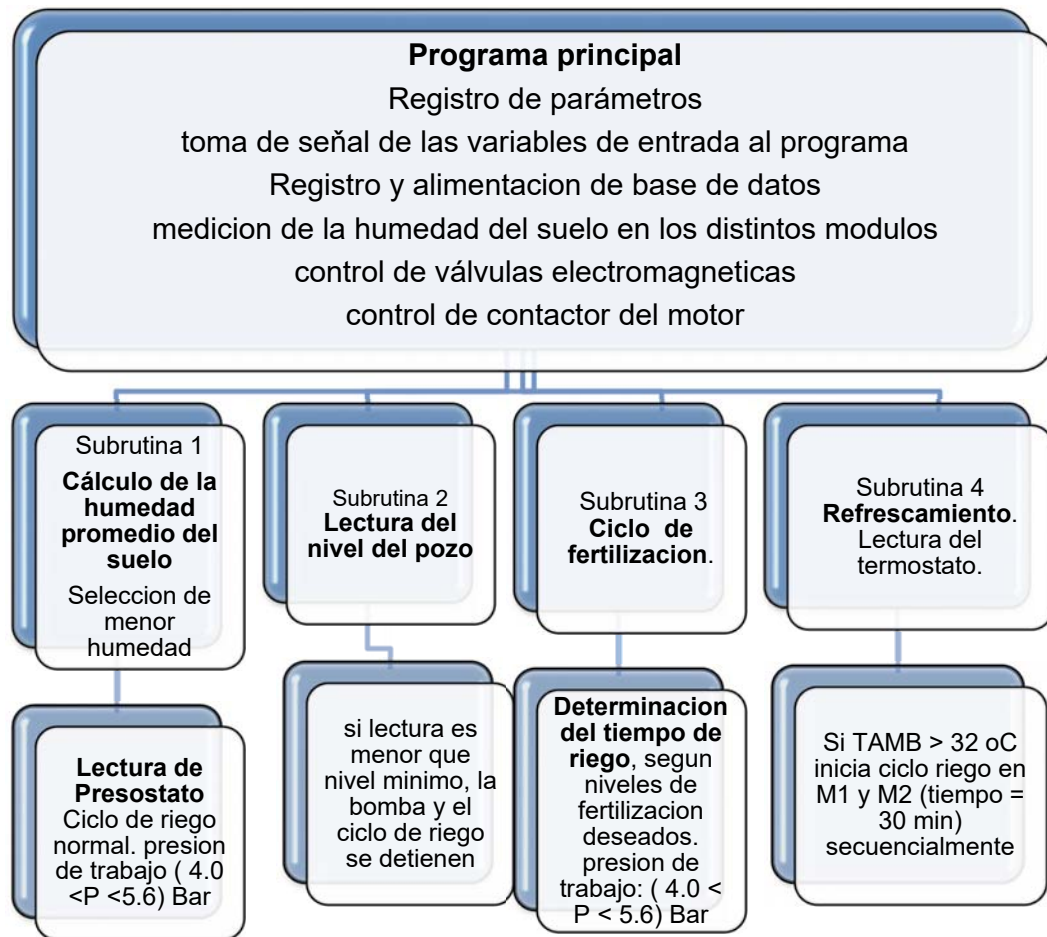


Figura 1.4 Estructura y subrutinas del programa de riego automatizado por módulos

En la figura 1,4 se detalla de acuerdo a distintos niveles de jerarquía, los distintos procesos para ejecutar el control y monitoreo del sistema a diseñar.

1.6. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA:

El sistema está impulsado por una bomba de las siguientes características:

Caudal manejado: 7.85 m³/hr

Cabezal total en máximo requerimiento (durante el fertirriego) : 5.52 Bar
(80 psi)

Eficiencia del grupo motobomba: 85 %

Potencia requerida por la bomba: 1.8 HP

Especificaciones eléctricas: 110 VAC/ 1 Fase/ 60 Hz FLA: 12 A

Conexión de tuberías: 2 pulg.

Equipo para fertilización asociado al riego:

Inyector Venturi Irritec Diámetro = 1 ½ pulg.

Válvula de globo para estrangular el flujo Diam. = 2pulg.

a) Caja de control:

La cual tiene los siguientes elementos:

b) Relé térmico

El relay seleccionado es Schneider LRD 14

Trabaja en red AC/DC, con una protección térmica de 7 a 10 A.

c) **Contactador: Schneider LC1-D09G7**

EL cual acciona la bomba monofásica de 1.8 hp, monofásica 220 VAC

d) **Tarjeta de Adquisición de Datos Ni USB – 6009**

Permite la conexión hasta de 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s), 2 salidas analógicas y 12 E/S digitales, con un contador de 32 bits.

Es energizado por bus para mayor movilidad y con conectividad de señal integrada.

e) **Módulo disparador de relés**



Figura 1.5 Módulo utilizado para el accionamiento de relés de potencia.

Este módulo es utilizado para el accionamiento de las cargas de gran potencia, en este caso: el contactor de la bomba y las 3 válvulas, siendo necesario un módulo independiente para cada uno de estos servicios

Equipo adicional

f) **Medidor de humedad Vegetronix VG 400**

Rango de humedad: 0 – 100 % Humedad en base a volumen.

Salida: 0.465 – 2.5 Vcc., 3 cables (V+, G- y referencia)

Entrada Vcc= 9 V

g) Sensor de Presión WIKA modelo A-10

Entrada : Rango de medición : 0 – 10 bar

Salida: DC 0 a 10 V, corriente: max 1 mA

Conexión eléctrica: alimentación 14 – 30 VDC, 3 cables

h) Sensor de temperatura: Maxim DS18B20

Mide temperaturas de – 10 oC hasta + 85 oC

Salida: -0.5 V a +6.0 V solo 2 cables: DQ y GD

Alimentación: Vdd = 3.0 – 5.5 V

i) Válvula solenoide distribuidora

WADE RAIN Válvula de control 22106PNP2WM4AC

Alimentación del solenoide 24 V AC, 50/60 Hz.

Corriente de retención: 0.143 A a 60 Hz.

Presión de trabajo: hasta 10 Bar

Conexión entrada-salida 2 pulg NPT.

1.7. VALORES PARA EL REGISTRO DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL

Nivel de agua en el pozo: 100 %: se conecta el circuito de la bomba, si H < 100% se desconecta el sistema.

Máxima presión de trabajo en el caso de riego con fertilización (81.22 psig = 5.6 Bar)

Mínima presión de apagado de la bomba del sistema de riego (59.50 psig = 4.1 Bar)

Máximo valor de humedad promedio del suelo a máxima capacidad de campo, cierra la válvula de riego (35 % en base a volumen)

Mínimo valor de humedad promedio del suelo a mínima humedad fácilmente aprovechable (18 % humedad en base a volumen)

Mínimo valor de temperatura de inicio de refrescamiento (32 °C) con un tiempo de refrescamiento de 30 minutos.

1.8 SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

1. Arranque del equipo: Por botonera de encendido.

Arranque del contactor que acciona la bomba y el sistema empieza a presurizarse. Cuando se alcance la mínima presión de funcionamiento (4.1 Bar), se activa el sensor de humedad promedio y también el de temperatura ambiental. Mientras la presión del sistema sigue subiendo, el controlador analiza si se trata de un ciclo de riego normal, en cuyo caso, el contactor se desconecta al alcanzar la presión máxima de circuito (5.6 Bar)

Se debe visualizar con una luz piloto, cuando está en ciclo de riego automatizado,

Inicio del proceso de riego.

Los sensores de humedad designados para cada punto seleccionado, miden permanentemente la humedad en 2 puntos simultáneamente, para asegurar una toma apropiada de humedad del suelo en base a volumen, en la zona de mayor presencia de raíces para el cultivo propuesto. En el módulo 1: a nivel superficial (15 cm) y otro sensor a nivel profundo (40 cm), estos valores se suman y se promedian en el micro controlador, al mismo tiempo se hace los mismos cálculos para el módulo 2 y se obtiene otro valor promedio para este módulo. El controlador debe entonces comparar los dos valores de humedad, selecciona el menor y lo compara con los valores previamente ingresados para mínimo valor de humedad fácilmente obtenible. Si el valor medido es menor que el tabulado, entonces, empieza el ciclo de riego en ese módulo. Al mismo tiempo se sigue haciendo la comparación entre los valores promedios de humedad hasta que el modulo en riego alcance un valor de humedad promedio que sea mayor que el valor tabulado para % de humedad de capacidad de campo.

En este punto, al comparar los 2 valores promedios de humedad, seguro que el otro modulo tendrá un valor menor al que acaba de ser regado, por lo que el proceso de riego, se continua con el segundo módulo.

Una vez que ambos módulos han sido regados y mientras su humedad promedio sea mayor al valor tabulado para mínima humedad fácilmente obtenible, el riego no se producirá.

Una luz piloto debe indicar cuál de los 2 módulos se encuentra en ciclo de riego en cualquier momento.

2. Inicio del riego de refrescamiento

En forma permanente, mientras esté conectado el sistema de control en automático, el sistema monitorea la temperatura cerca de la caja de control.

Una vez que la temperatura ambiental supera los 32 °C, se activa el control de riego para el primer módulo de riego; un contador de tiempo controla el tiempo desde el inicio de este ciclo y luego de 30 minutos, se desactiva la válvula 1 y se activa en seguida la válvula 2, la cual permite el riego de refrescamiento para el segundo módulo, así mismo durante media hora. Notar que como este riego solo es de media hora, la humedad en la zona radicular profunda no va a ser afectado, por lo que la cantidad de agua rociada, solo afectara a la capa superficial de suelo y es parcialmente independiente del control de riego por humedad del suelo.

El ciclo de refrescamiento también se debe indicar con una luz piloto.

3. Ciclo de Fertilización asociado al riego (Fertirrigación)

en caso de que se trate de un ciclo de riego con fertilización, la presión máxima de circuito es mayor (5.60 Bar), esto se debe a que para el accionamiento del inyector, se requiere producir un gradiente de presión en la línea principal de riego, lo cual se logra actuando manualmente sobre la válvula de estrangulamiento (VE) y los manómetros de control M1 y M2, A dicha presión se producirá ahora la desconexión del contactor que acciona la bomba.

Esta fase también se debe indicar con una luz piloto

4. Parada del equipo de emergencia: por botonera de paro

Al presionar el botón de paro de emergencia, se cierran automáticamente las válvulas de descarga en los diferentes circuitos y se desconecta el arrancador de la bomba, por lo que el sistema se detiene.

1.9.1. SEÑALES DE ENTRADA A LA TARJETA DE ADQUISICION

Señal de paro (PB-2) y de marcha (PB-1)

Señal de nivel del pozo (NP)

Señal de presión del sistema (P)

Señal del sensor de temperatura ambiental (TAMB)

Señal de sensor de humedad superficial módulo 1 (HSM1)

Señal de sensor de humedad profundo módulo 1 (HPM1)

Señal de sensor de humedad superficial módulo 2 (HSM2)

Señal de sensor de humedad profundo módulo 2 (HPM2)

1.9.2. SEÑALES DE SALIDA DE TARJETA DE ADQUISICION

Relé de accionamiento de válvula de riego módulo 1 (RV1)

Relé de accionamiento de válvula de riego módulo 2 (RV2)

Relé de accionamiento de válvula para fertilización (RVF)

Relé de accionamiento de la bomba de riego (RBP)

Además, en la pantalla de monitoreo por medio de Labview, se ha diseñado un SCADA que da la siguiente información:

Lámpara piloto que indica funcionamiento normal del sistema de control (verde)

Lámpara piloto que indica funcionamiento en ciclo de refrescamiento (verde)

Lámpara piloto que indica funcionamiento del ciclo de fertilización (verde)

Lámpara piloto para indicar presencia de falla en circuito (rojo)

Lámpara piloto indicadora de accionamiento de válvula de módulo 1 (verde)

Lámpara piloto indicadora de accionamiento de válvula módulo 2 (verde)

Selector virtual de 3 posiciones: 0 desconectado, 1: riego automático y 2: riego y fertilización.

No.	tipo de señal	instrumento	funcion	salida/entrada del instrumento	UNIDAD	tag	senal simulada (V)	EXPLICACION
1	AI	VEGETRONIX VH400 5M	nivel minimo de agua en pozo	$6 < N < 6.15$	m	N	$1.30 < V < 2.5$	SI EL NIVEL DEL POZO ESTA SOBRE EL NIVEL MINIMO DE SUCCION DA SENAL PARA PRENDER BOMBA. SI EL NIVEL ESTA DEBAJO DEL MINIMO, LA SENAL NO SE DA.
2	A	WIKA A-210	PRESOSTATO SENSOR TEMPERATURA AMBIENTAL	$4 < P < 5.6$	bar	P	$3.359 < v < 5.13$	SILA PRESION DEL SISTEMA ESTA DEBAJO DEL MINIMO (4 BAR), DA SENAL PARA PRENDER BOMBA. SILA PRESION ESTA SOBRE LA MAXIMA (4.10 BAR), NO SE DA SENAL P. EL ARRANQUE DE BOMBA.
3	AI	TERMISTOR	SENSOR TEMPERATURA AMBIENTAL	$0 < TAMB < 40$	°C	TAMB	$8.39 < v < 8.9748$	SILA TEMPERATURA AMBIENTAL ESTA SOBRE LOS 32 °C, SE INICIA CICLO DE REFRESCAMIENTO
4	AI	VEGETRONIX VH400 2M	HUMEDAD DEL SUELO MODULO 1 (H= 15 Y 40 CM)	$18 < \%H < 35$	%	HM1S	$V < 0.82$ Y $V > 1.166$	SILA HUMEDAD DEL SUELO ESTA DEBAJO DEL VALOR DE HUMEDAD FACILMENTE APROVECHABLE, SE INICIA EL RIEGO POR MODULOS, DEPENDIENDO DE CUAL DE LOS 2 MODULOS PRESENTE EL MENOR VALOR DE HUMEDAD EN BASE A VOLUMEN
5	AI	VEGETRONIX VH400 2M	HUMEDAD DEL SUELO MODULO 1 (H= 15 Y 40 CM)	$18 < \%H < 35$	%	HM1P	$V < 0.82$ Y $V > 1.166$	EL VALOR DE LA HUMEDAD SE PROMEDIA ENTRE LAS 2
6	AI	VEGETRONIX VH400 2M	HUMEDAD DEL SUELO MODULO 2 (H= 15 Y 40 CM)	$18 < \%H < 35$	%	HM2S	$V < 0.82$ Y $V > 1.166$	PROFUNDIDADES PARA DISCRIMINAR CUAL MODULO ES EL PRIMERO EN SER REGADO. PARA EL FIN DEL PERIODO DE RIEGO, ESTE SE DETIENE CUANDO SE ALCANZE EL PUNTO DE CAPACIDAD DE CAMPO PROMEDIO.
7	AI	VEGETRONIX VH400 2M	HUMEDAD DEL SUELO MODULO 2 (H= 15 Y 40 CM)	$18 < \%H < 35$	%	HM2P	$V < 0.82$ Y $V > 1.166$	

Tabla 1.1 Señales de entrada en el sistema de riego

No.	tipo de señal	instrumento	funcion	salida/entrada del instrumento	tag	senal simulada (v)	EXPLICACION
1	DO	RAIN BIRD CP 100	VALVULA DISTRIBUIDORA CAUDAL 2"	1-0	RV1	24 VAC, $0.19 < I < 0.3$ A	V1: VALVULA DE RIEGO MODULO 1
2	DO	RAIN BIRD CP 100	VALVULA DISTRIBUIDORA CAUDAL 2"	1-0	RV2	24 VAC, $0.19 < I < 0.3$ A	V2: VALVULA DE RIEGO MODULO 2
3	DO	RAIN BIRD CP 100	VALVULA DISTRIBUIDORA CAUDAL 2"	VALVULA DISTRIBUIDORA CAUDAL 2"	RVF	24 VAC, $0.19 < I < 0.3$ A	V3: VALVULA PARA FERTIRRIEGO
4	DO	SOLENOIDE DE ACCIONAMIENTO O CONTACTOR 3P/AC3 120V LC1-D0967	ACCIONA CONTACTOR Y RELE TERMICO DE LA BOMBA DE AGUA	1-0	RBP	110 VA,	ARRANCADOR DE BOMBA CONSISTE EN RELE DISPARADOR QUE ACCIONA UN CONTACTOR CON RELE TERMICO

Tabla 1.2 Señales de salida del sistema de control

1.10. USO DE LABVIEW 2015 PARA LA PROGRAMACIÓN DEL PROCESO.

Se usa esta herramienta para el desarrollo del programa que permite la visualización del proceso, así como las pruebas y el monitoreo del mismo. En conjunto con este programa, se utiliza la tarjeta para adquisición de datos usb 6009, la cual permite obtener datos de sensores externos.

En el panel frontal se presenta los instrumentos virtuales que permiten el monitoreo y control del proceso. El programa completo se ha dividido en subrutinas, específicamente llamadas sub VI, mismas que fueron presentadas en la figura 1.4

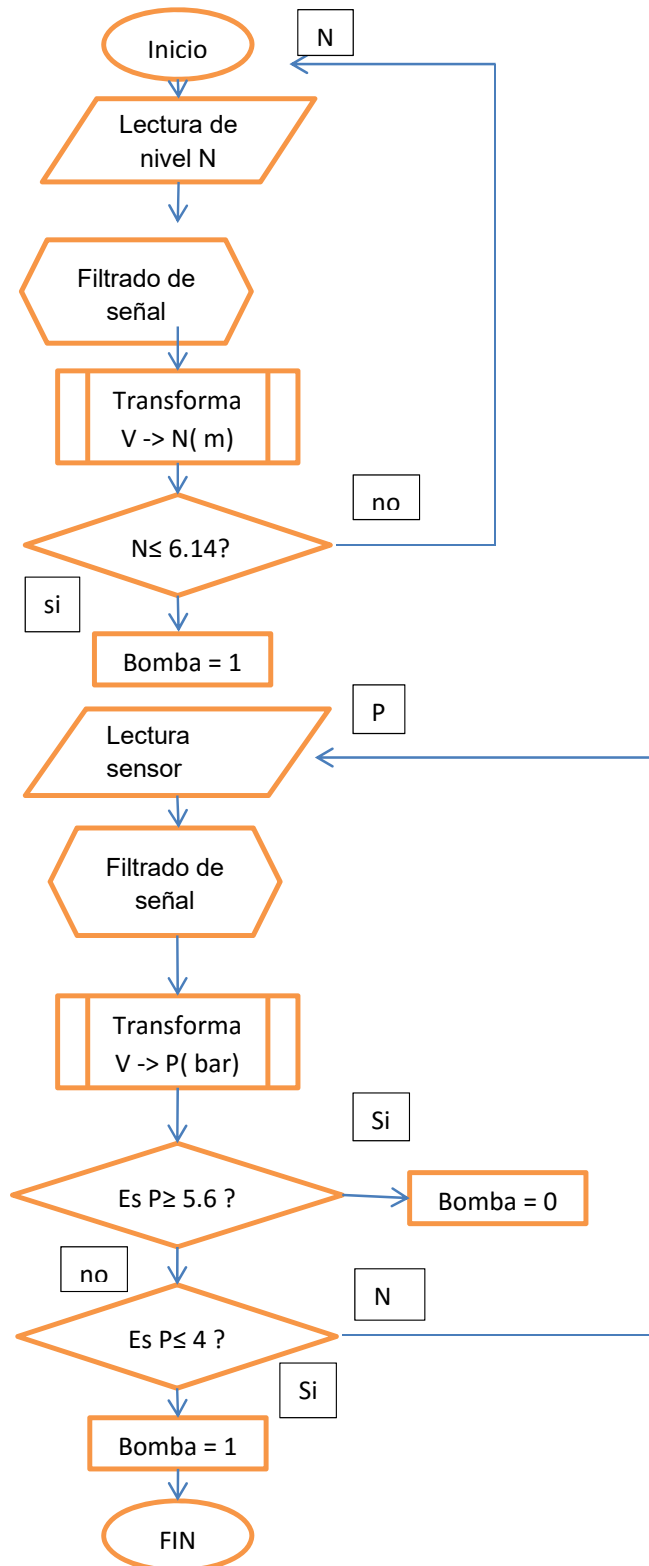


Figura 1.6 Diagrama de flujo para subrutina que controla nivel de agua en el pozo y presión del sistema de riego.

El programa completo, se muestra en el diagrama de bloques, el cual se haya subdividido en sub VI (subrutinas del Virtual Instrument)

1.10.1 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES SUBROUTINAS VI

Subrutina VI 1: Control de nivel y presión en tuberías

Esta subrutina controla el funcionamiento de la bomba de acuerdo a los niveles del pozo y al nivel de presión en el sistema. El diagrama de flujo que representa este proceso se muestra en la figura 1.5

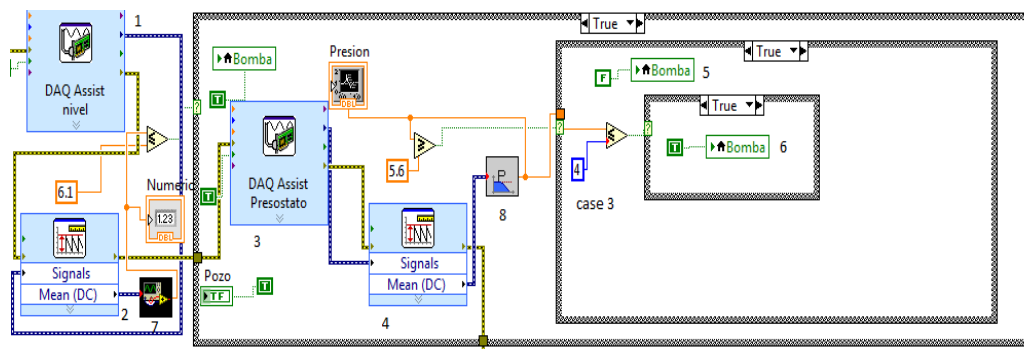


Figura 1.7 Subrutina que controla el estado de la bomba tomando en cuenta el nivel de agua en el pozo y la presión manométrica total de sistema.

En la figura 1.7 Se muestra la subrutina que controla la bomba en base al nivel del pozo. Una vez iniciado el ciclo de riego automático, la señal de nivel dada por el sensor N y llega a la tarjeta de adquisición de datos usb-6009,

esta señal es procesada mediante el DAQ Assistant (1), luego pasa al filtrador de señal (2) este elemento se encarga de transformar la señal de voltaje en una señal promedio (mean) y se compara con el valor mínimo de nivel de agua (6.10 m desde la el suelo hacia la superficie del agua). Si la altura es mayor que 6.10 m, entonces el booleano es verdad y la bomba se conecta (case 1). En este momento, la TAD (3) recibe además la señal de la presión del sistema, la cual también se filtra por ruido mediante el filtro de señal (4). Se chequea la presión con el booleano en el case 2. Si la presión es mayor que 5.6 bar entonces la bomba se desconecta por el booleano (5). A continuación se controla nuevamente la presión en el case 3 y si la Presión es mayor que 4 Bar, entonces la bomba se prende por el booleano (6). También se muestra el Sub VI (7) para transformar la escala de voltaje a Nivel (m) y el sub VI (8) para transformar la señal de voltaje (v) a Presión (Bar). En esta Subrutina VI y en el panel frontal se muestra el Waveform chart (9) que indica en forma permanente la presión del sistema y en caso de nivel bajo del pozo, o de presión máxima alcanzada, la luz piloto de funcionamiento de la bomba (10) cambia de verde a rojo mientras el sistema de riego está en automático.

1.10.2 SUBRUTINA VI 2: SISTEMA DE RIEGO POR MÓDULOS EN BASE AL % DE HUMEDAD DEL SUELO

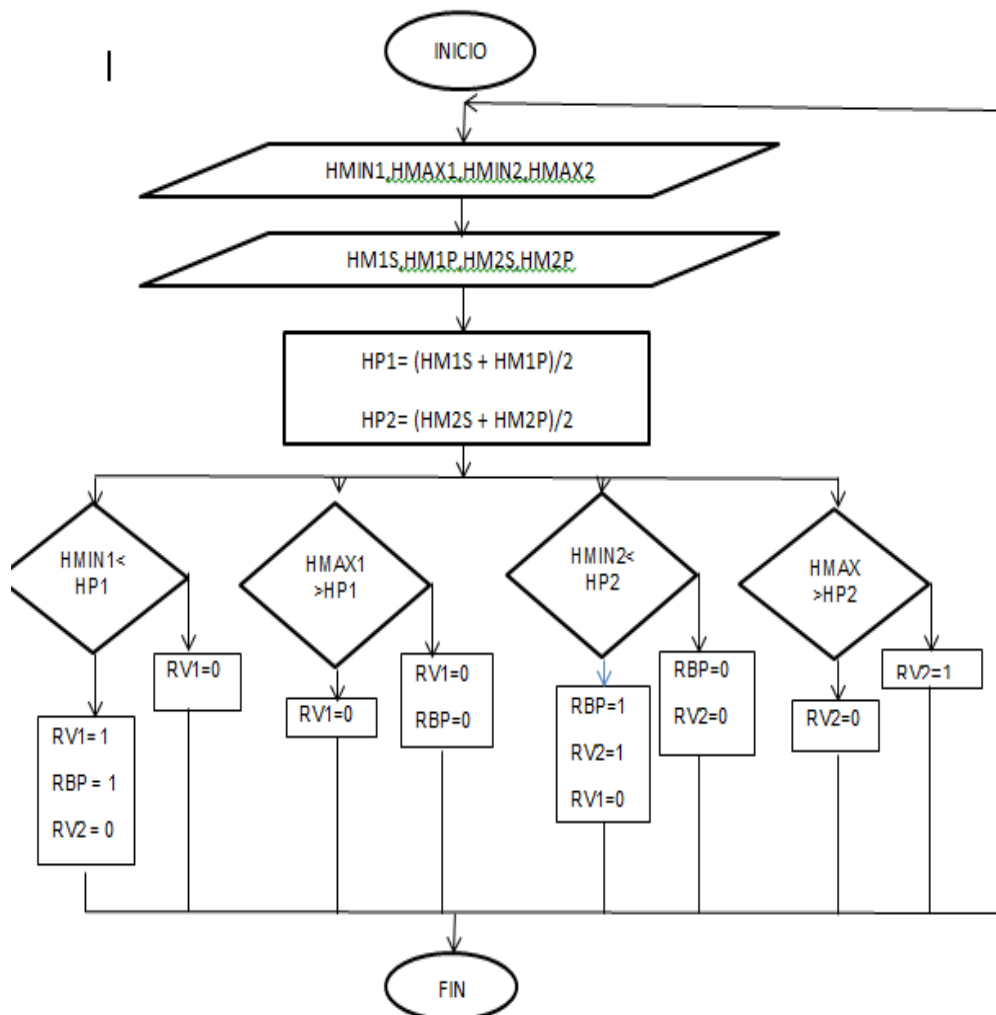


Figura 1.8 Diagrama de flujo de la subrutina para control de riego en base al % de humedad del suelo en base a volumen (fuente propia)

En la figura 1.8 se muestra el diagrama de flujo para la subrutina que gobierna el accionamiento de las válvulas entre los 2 módulos, según el nivel de humedad del suelo en cada uno de los mismos.

En la figura 1.10 se muestra la subrutina en Labview para este proceso.

Esta subrutina mide la humedad a 2 profundidades diferentes (superficial y profunda) en cada módulo (M1 y M2) en cada punto; en cada caso, la señal es recibida por el DAQ Assistant (1 y 2) y luego el voltaje generado es filtrado mediante el elemento A&L Measurements (3 y 4) para eliminar cualquier condición de ruido no apropiado. Los 2 valores de humedad se promedian y luego se comparan entre sí para determinar cuál de ambos es el más bajo. Esto se logra con la serie de 5 cases estructural, los cuales nos permiten discriminar cual es el modulo que presenta la menor humedad promedio. En este momento, la humedad promedio más baja, es la que da señal para que empiece el riego mediante la apertura de la válvula respectiva

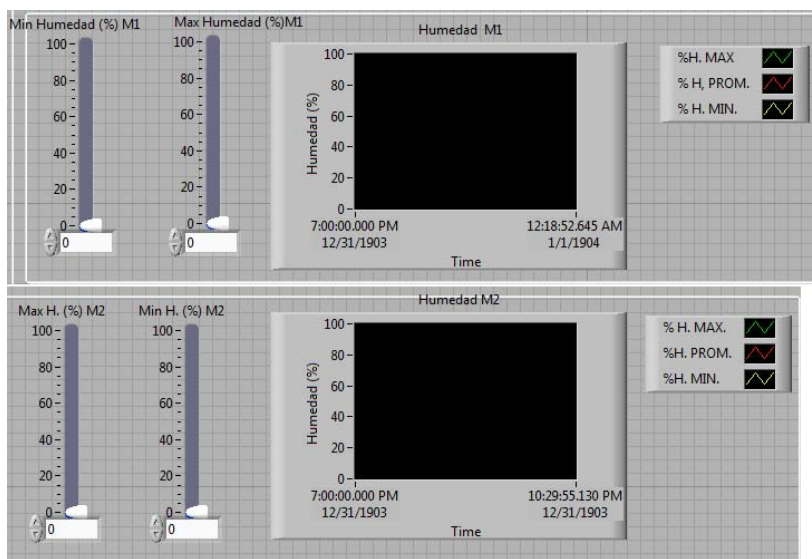


Figura 1.9 Vista del panel frontal: Indicadores y controles de Humedad Máxima y mínima,

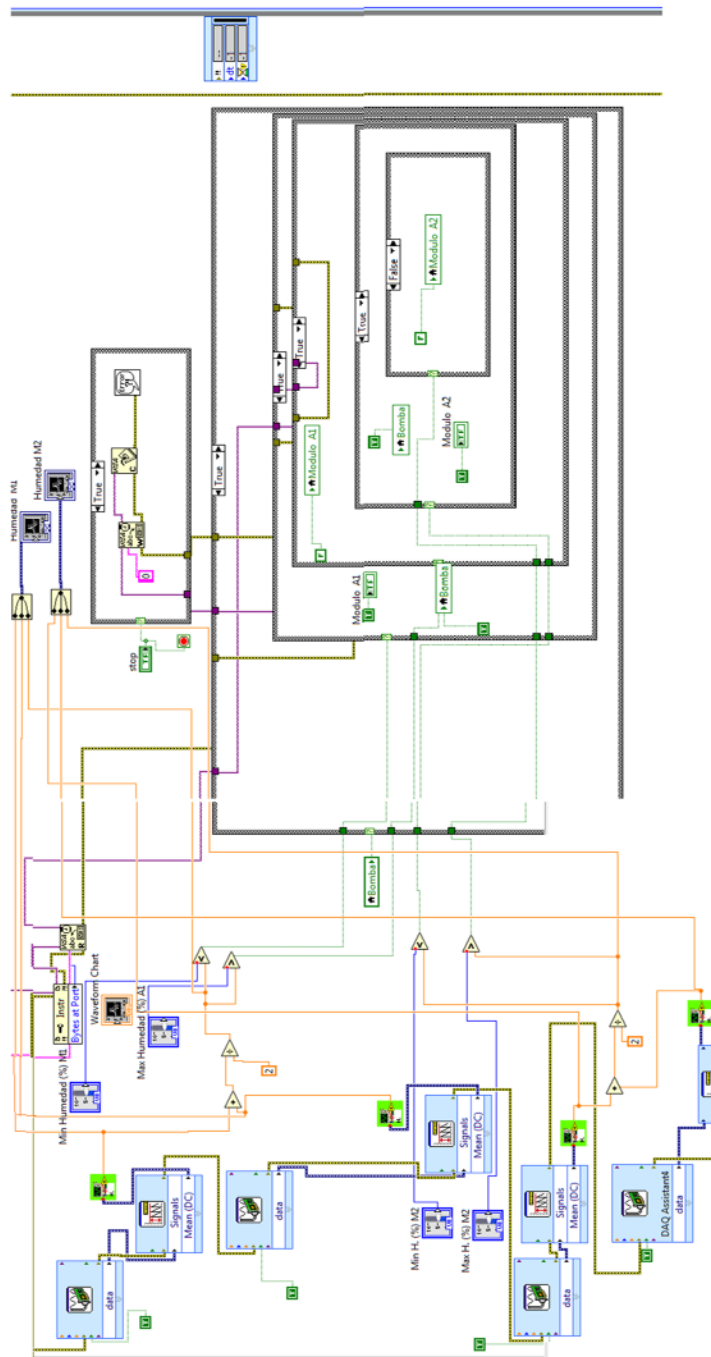


Figura 1.10 Subrutina VI 2: discrimina cuál de los módulos será el primero en ser regado.

Para el monitoreo, existen los indicadores de señal en cada instante que muestran la mínima y máxima humedad promedio y a su lado se tiene el indicador en forma de Onda (waveform indicador) que resume los tres valores de humedad controlados en cada instante: la mínima, la máxima y su promedio.(Figura 1.9)

1.10.3 SUBROUTINA VI 3: APLICACIÓN DE FERTILIZANTE

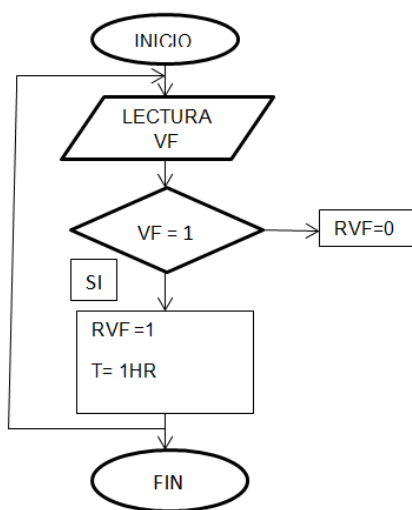


Figura 1.11 Diagrama de Flujo para la subrutina que gobierna la fertilización.

La Figura 1.11 muestra el diagrama de flujo para la subrutina de fertilización. Para la misma se crea un control tipo booleano: cuando se desea incluir la fertilización en el riego, se activa este control booleano. En esta subrutina se utiliza un botón que se pulsa cuando se requiere incluir al proceso de fertilización en el ciclo normal de riego; para lograr esto, se ubica este case dentro del case que incluye al circuito de riego.

La Figura 1.12 muestra el código en Labview para esta programación.

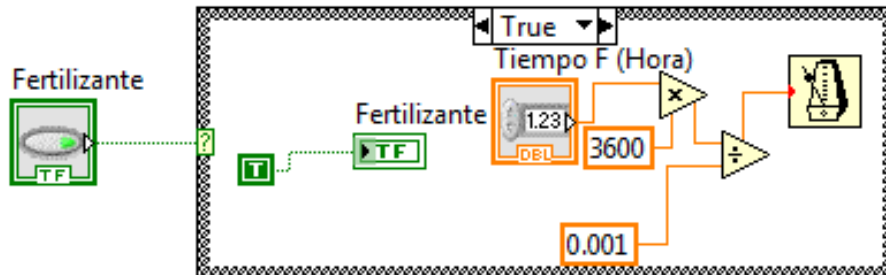


Fig. 1.12 Subrutina VI 3: aplicación de fertilizante

La señal booleana le indica al case cuando se debe activar la válvula RVF de fertilización. En este caso en el panel frontal aparece el control para poder ingresar el tiempo en horas que se requiere para la aplicación de los diferentes productos. Se puede observar el cronometro el cual esta calibrado para que dicho tiempo sea ingresado en horas. También existe un indicador que muestra en el panel frontal cuando está activado el circuito de fertilización,

1.10.4. SUBRUTINA VI 4: RIEGO DE REFRESCAMIENTO

En la fig.1.13 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de refrescamiento, mientras que en la figura 1.14 se muestra la subrutina en Labview generada para el ciclo de refrescamiento, el cual es totalmente independiente del ciclo normal de riego, pero si debe ocurrir mientras el ciclo de riego esta energizado (condición : Si RBP = 1).

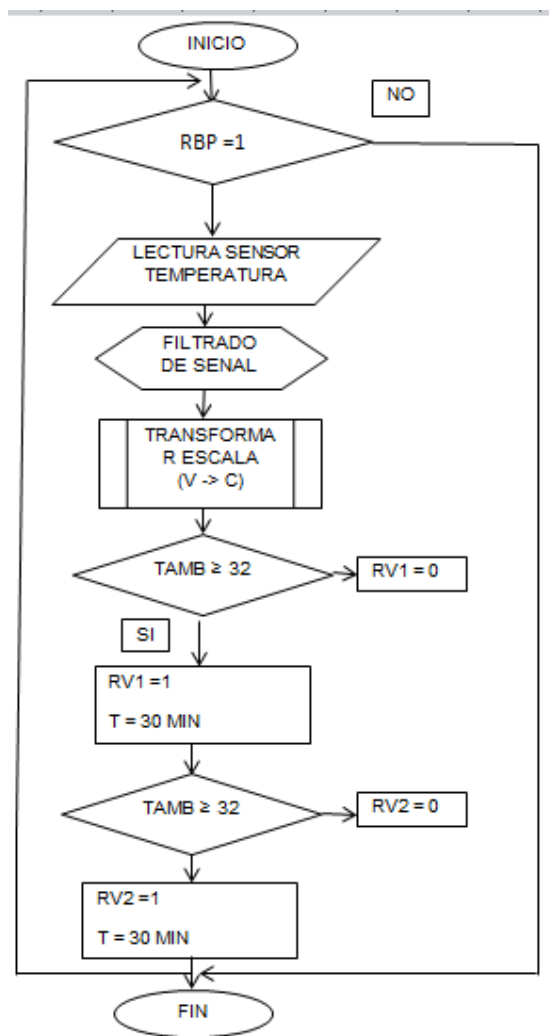


Figura 1.13 Diagrama de flujo para el proceso de refrescamiento.(fuente propia)

La señal de temperatura entregada por el sensor de temperatura DS 18B20 es recibida por la tarjeta sub-6009, la cual es procesada por el DAQ assistant 7 y filtrada por el modulador de señales (1). Si la señal es mayor que 32 °C, el case (2) se ejecuta para el Modulo de riego 1.

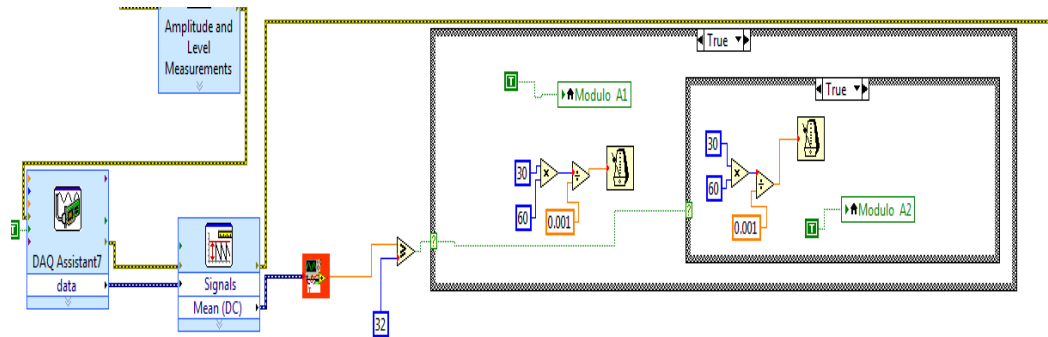


Figura 1.14. Subrutina VI 4. Ciclo de refrescamiento.

Al mismo tiempo se arma el cronometro (3) el cual cuenta el tiempo durante media hora (tiempo de refrescamiento) luego del cual se cumple el siguiente case (4), se inicia el nuevo cronometro (5) el cual acciona el módulo de riego 2 durante media hora y el proceso se detiene. Si en un momento posterior, la temperatura ambiental aumenta nuevamente sobre 32 C, el proceso se repite, en forma independiente del proceso normal de riego.

Finalmente la figura 1.15 muestra los indicadores para el monitoreo del riego.

Las luces de módulo A1 y A2 se cambian a verde en el momento que esta accionada la válvula que permite el flujo a los módulos de riego 1 y 2 respectivamente (RV1 Y RV2).

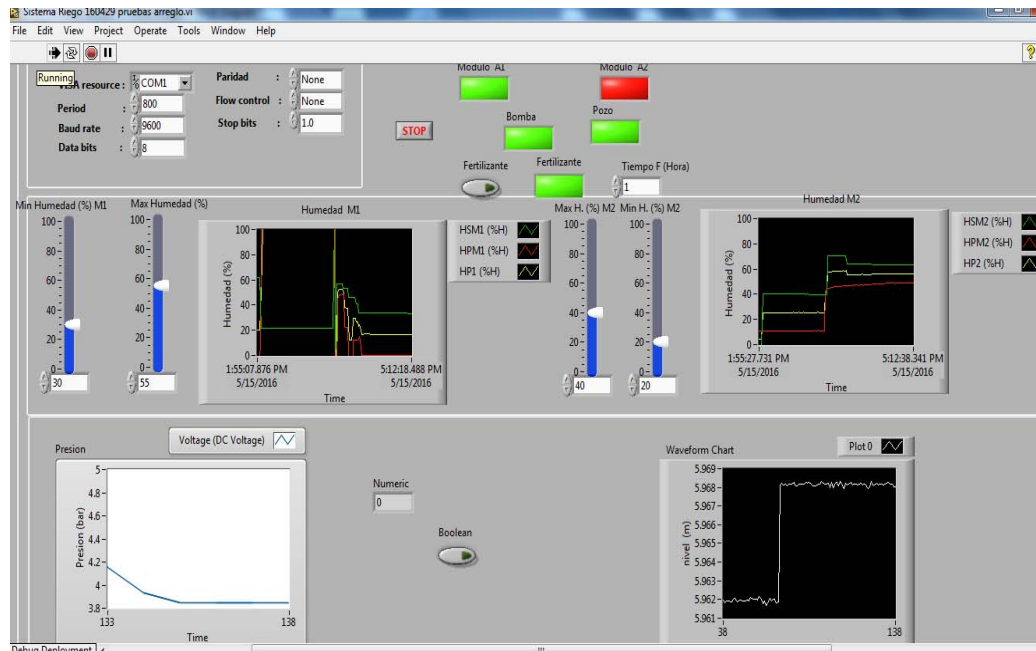


Figura 1.15 Indicadores para monitoreo del sistema de riego (Simulación).

El indicador de pozo cambia a rojo cuando el nivel del pozo es muy bajo y la bomba se detiene; además, se tiene un gráfico que nos indica el nivel del agua en el pozo en forma permanente (en la figura aproximadamente 6 m).

El indicador del presostato activa el relé que controla el funcionamiento de la bomba, el cual tiene un indicador (Bomba) que cambia a verde cuando la presión está dentro del rango de control. Si la presión es muy alta, cambia a rojo (la bomba se apaga), además se tiene otro indicador que permite ver el histórico de la presión (en la figura 1.13 simula una presión de 3.85 bar). Si la presión está muy baja, el ciclo de riego no puede comenzar hasta que se alcance la mínima presión de trabajo.

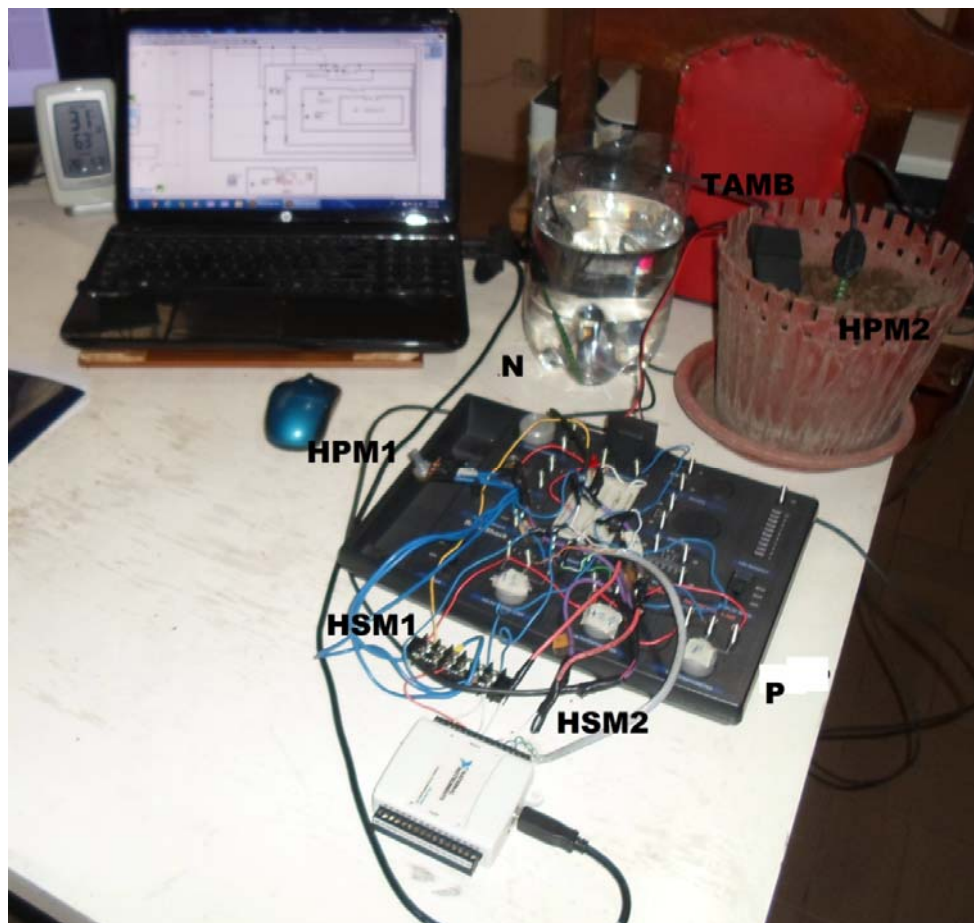


Figura 1.16 Planta para la simulación de las variables por medio de sensores

Por último, en la figura 1.16 se muestra una foto de la planta que se armó para la simulación de las variables con potenciómetros: HSM1, HSM2, P (presión del sistema); estos potenciómetros están empotrados en la plataforma de simulación mostrada Y HPM1 (este potenciómetro externo de 5k, mientras que se usó los sensores reales Vegetronix para simular el nivel en el pozo N (mostrado sumergido en la cubeta con agua), humedad del suelo en módulo 2 a nivel profundo (HPM2), el cual aparece como el sensor

semienterrado en la maceta y el termistor para simular el sensor de temperatura ambiente (TAMB).

La salida analógica se simulo con un diodo para representar la activación del relé de accionamiento del contactor que maneja la bomba de riego (RBP).

1.11 COSTOS DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL

NR.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VAL. UNITARIO	SUBTOTAL
	EQUIPO DE CONTROL				
1	TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS USB-6009	UNIT.	1	250.00	250
2	TARJETA MICROCONTROLADORA ME I& T03	UNIT.	1	51.34	51.34
3	MODULO RS 232 TTL I&T 03	UNIT.	1	11.30	11.3
4	MODULO DISPARADOR DE RELE	UNIT.	4	6.00	24
5	FUENTE AC-110/DC-12V.300 MA	UNIT.	1	19.64	19.64
6	FUENTE AC-110/DC-12V.500 MA	UNIT.	1	5.00	5
7	SENSOR HUMEDAD VEGETRONIX V400	UNIT.	5	30.00	150
8	SENSOR TEMPERATURA	UNIT.	1	6.00	6
9	SENSOR DE PRESION 0-25 bar/12 v	UNIT.	1	48.05	48.05
	total				565.33
	EQUIPO DE POTENCIA Y ACTUADORES				
2	CONTACTOR 3P 9A/AC3 120 V ;C1-D09G7		1	19.05	19.05
3	LUZ PILOTO VERDE 240 V AC/XB4-BVM3		1	13.02	13.02
4	RELE 78*10 A P/CONTACTOR D09..D32 LRD14		1	29.65	29.65
5	SELECTOR 3 POSICIONES XB4-BD33		1	11.60	11.6
6	CONDUCTOR AWG 18 VERDE	rollo 25	1	7.00	7
7	CONDUCTOR AWG 18 ROJO	rollo 25	1	7.00	7
8	CONDUCTOR AWG 18 MORADO	rollo 25	1	7.00	7
9	BOMBA CENTRIFUGA		1	200.00	400
10	VALVULA ELECTRO HIDRAULCA WADE RAIN 100		3	50.00	150
					644.32
	TOTAL EQUIPO CONTROL Y POTENCIA PARA RIEGO				1209.65

Tabla 1.3 Costos del equipo requerido para el sistema de riego.

CAPITULO 2

2.1 RESULTADOS OBTENIDOS

Maqueta del prototipo, en el cual se puede simular el modelo implementado, en sus diferentes opciones.

Implementación de una interfaz amigable mediante Labview para el monitoreo y supervisión del sistema, de manera que sea fácil de operar el sistema automatizado de riego por parte del operador del equipo.

Implementación de Programa para adquisición de datos y para el control [11]

Montaje de los sensores de humedad del suelo en el equipo apropiado para la toma de muestras

De acuerdo a las investigaciones realizadas [6] se ha comprobado que es posible mejorar la producción en plantaciones de cacao, siempre que

se cuente con un sistema apropiado de riego que permita mantener las condiciones de humedad apropiada del suelo, una vez que se ha alcanzado un nivel apropiado de frondosidad, que permita una cobertura casi total del terreno sembrado. Una vez alcanzada esta cobertura, los requerimientos de riego disminuyen ostensiblemente.

2.2. CONCLUSIONES

1. Se debe probar el comportamiento de los sensores en condiciones reales de operación para determinar las ecuaciones que deben utilizarse en el programa de Labview.
2. Inicialmente se deseaba utilizar un microcontrolador para la operación del sistema de control, pero debido a condiciones de disponibilidad de la tarjeta de adquisición de datos y por la mayor facilidad en la programación grafica que permite Labview, se prefirió el uso de dicho equipo.
3. Una vez realizada la simulación, el siguiente paso es la elaboración de una maqueta para la prueba más real en un modelo físico, así mismo,

se requiere la conexión entre la señal de salida digital y los distintos relés de potencia para el control de los distintos actuadores: contactor de accionamiento de la bomba, válvulas de accionamiento del riego en el módulo 1 y 2, así como la válvula de fertilización,

RECOMENDACIONES

1. Como una recomendación para un estudio posterior, se presenta el hecho de que la actividad del operario de recorrer el lote, lo puede realizar un autómata, que se encargue de tomar directamente los datos respecto de la ubicación mediante GPS (Global Positioning System), del tipo de suelo, profundidad de suelo agrícola, elementos nutrientes presentes en cada punto, así como humedad del suelo en 2 niveles superficial (15 cm) y profundo (40 cm).
2. Se requiere una profundización en la aplicación de programas de manejo geográfico como el Qgis con un programa de riego inteligente que permita discriminar niveles de riego y fertilización de acuerdo a las condiciones del punto analizado, para optimizar el uso de los insumos

agrícolas y así evitar la contaminación del medio ambiente ante la presencia excesiva de dichos productos, que finalmente terminan en los ríos y pozos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Castro, M. ; Águila Marín, Francisco ; Quevedo Abel ; Kleisinger, Siegfried; Tijeras Chávez Leonardo y Mejía Sáenz ,Enrique. Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. Programa de hidro-ciencias, colegio de postgraduados km.35.5 carretera México Texcoco, Estado de México, México, 2008
- [2] Evett, S.R. Some aspects of time domain reflectometry, neutron scattering, and capacitance methods for soil water content measurement. USDA-ARS, Bushland, Texas, United States of America.2000
- [3] Espinosa Lugo, Oziel; Quevedo Nolasco, Abel; Bauer Mengelberg, Juan; Del Valle Paniagua, David; Palacios Vélez, Enrique; Aguila Marín, Miguel; Prototipo para automatizar un sistema de riego multicultivo. Posgrado de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Carretera México -Texcoco, 2011
- [4] Orlov, Dov. Manejo y control del riego en Plantaciones de Árboles Frutales. Servicio de campo, Ministerio de Agricultura de Israel. Asociación israelí de cooperación internacional.1985
- [5] Castañón Guillermo. Ingeniería de riego ; Utilización racional del agua. Editorial Paraninfo. ISBN. 84-283-2733-5. 2000
- [6] Amores, Freddy; Suarez, Carmen; Garzón, Iván. Producción intensiva de cacao nacional con sabor “arriba” tecnología, presupuesto y rentabilidad. Estación Experimental Pichilingue, Iniap. 2010.
- [7] Santos Alcívar, Jorge R.; Millán, Marcos. Telecontrol de invernadero. Facultad de Ingeniería y Electricidad y Computación. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral Guayaquil Ecuador. 2015

- [8] Perez Rojas, Hernando; Cortes, Martin de Paul. Simulación y control de la temperatura dentro de un invernadero. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica.
- [9] Rodríguez Díaz, Francisco MODELADO Y CONTROL JERÁRQUICO DE CRECIMIENTO DE CULTIVOS EN INVERNADERO. Almería. UNIVERSIDAD DE ALMERÍA, ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR. Departamento de Lenguajes y Computación. 2002
- [10] Shamshiri, R.; Wan Ismail W.I. Investigation of climate control techniques for tropical lowland Greenhouse in Malaysia., Department of Agricultural and Biological Engineering. University of Florida, Gainesville, FL32611. USA.
- [11] Proyecto de sistema de automatización de riego con adquisición de datos y control por Labview. AGROPIEMER C.A. 2011
- [12] Rizk, Nazario. Morfología de la planta de cacao. <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3096> fecha de consulta marzo de 2016