



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



“Obtención de un modelo matemático de la dinámica del balance de agua en la zona radicular de un cultivo de cacao especie CCN-51”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL

Muñoz Sánchez José Julián

Rivadeneira Mendoza Javier Antonio

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2020

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiera agradecer a nuestros padres que nos han ayudado y apoyado en todo el proceso, a nuestro tutor Douglas Plaza, por habernos orientado en todos los momentos que necesitamos sus consejos.

Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento al Dr. Christian Vega, quien nos orientó y nos ayudó con información brindada a lo largo de esta indagación.

A la Escuela Politécnica del Litoral por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi hija Amy Coral, mi esposa Melissa y mis padres Susana y Jorge pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo de hasta ahora.

José Julián Muñoz Sánchez

El presente proyecto de titulación está dedicado a mi esposa Betsy a mi madre Danni Carlina, quienes han sido un apoyo en los momentos más difíciles de esta etapa de mi vida.

**Javier Antonio Rivadeneira
Mendoza**

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
PhD. JUAN CARLOS AVILES

SUBDECANO DE LA FIEC

.....
PhD. DOUGLAS PLAZA GUINGLA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

.....
Magister. Ronald Solís

MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
MUÑOZ SANCHEZ JOSE JULIAN

.....
RIVADENEIRA MENDOZA JAVIER
ANTONIO

RESUMEN

El presente proyecto está enfocado en determinar el modelo Caja Blanca obtenido del balance hídrico con ecuaciones aprobadas por la FAO, y el modelo Caja Negra a través de la identificación del sistema de una planta de cacao en edad adulta sembrada en una maceta con un volumen de 0.43 metros cúbicos aproximadamente, ubicada en el área experimental de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí. El sitio contaba con instrumentos para monitorear humedad volumétrica del suelo y evapotranspiración de referencia; para este trabajo se consideró información de un periodo de 8 meses.

Con esto se pretende determinar la dinámica del suelo según las propiedades del mismo y el nivel de consumo del cultivo.

El riego de las plantas se realizaba cada 4 días de acuerdo a la demanda, para ello con los datos de la estación meteorológica del área experimental se calculaba el consumo de agua de la planta y junto con los datos adquiridos con el sensor de humedad volumétrica se realizaba el balance de agua en la zona radicular de las plantas.

El suelo donde estaba establecida la planta se homogenizo para permitir una adecuada retención agua-suelo junto con facilitar la infiltración.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
CAPÍTULO 1.....	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1 Identificación del problema.....	8
1.2 Justificación.....	8
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 General:.....	10
1.3.2 Específicos:.....	10
1.4 Metodología.....	10
1.5 Alcance.....	11
CAPÍTULO 2.....	13
2. ESTADO DEL ARTE.....	13
2.1 Respuesta fisiológica del cacao a la disponibilidad del agua en el suelo.....	13
2.1.1 Potencial hídrico xilemático.....	14
2.1.2 Conductancia estomática.....	14
2.1.3 Flujo de savia.....	14
2.2 Estática y dinámica del agua en suelo.....	14
2.2.1 Capacidad de campo.....	15
2.2.2 Punto de marchitez permanente.....	15
2.2.3 Conductividad hidráulica.....	15
2.3 Evapotranspiración.....	15
2.3.1 Evaporación.....	16

2.3.2	Transpiración.....	16
2.4	Adquisición de datos	16
2.4.1	Software.....	16
2.4.2	Hardware.....	18
3	MODELO BASADO EN ECUACIONES FÍSICAS.....	20
3.1	Ecuación General de Balance Hídrico	20
3.1.1	Agua almacenada.....	21
3.1.2	Percolación.....	22
3.1.3	Evapotranspiración.....	25
3.1.4	Ecuación final de balance hídrico	25
3.2	Lamina de riego.....	25
3.3	Conversión de la humedad volumétrica a volumen de agua almacenado	29
3.4	Diagrama, sistema principal	30
3.4.1	Entrada de agua	27
3.4.2	Conductividad Hidráulica Saturada.....	30
3.4.3	Subsistema para el cálculo de la constante B de la ecuación de Campbell	31
3.4.4	Medidores Acumulativos.....	34
3.5	Lectura de la Evapotranspiración	35
3.6	Análisis general del sistema físico real.	35
CAPITULO 4.....		42
4	Identificación del sistema de infiltración.....	42
4.1	Elaboración del experimento	42
4.2	adquisición de datos	44
4.3	Pre-procesamiento de datos.....	54
4.4	Generación del modelo.....	57
4.5	Validación de modelo	62
CAPITULO 5.....		65
5	VALIDACION DE MODELOS.....	65

5.1	Calculo de PI de los modelos matemáticos.	67
5.2	Análisis del comportamiento de los controladores según su tipo de actuador	69
5.3	Implementación del controlador	73
5.4	Comparación de modelos caja negra y caja blanca usando un controlador	74
BIBLIOGRAFÍA.....		79
ANEXOS		82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Representación de la lámina de agua.	26
Figura 3.2: Volumen en un milímetro de lámina de agua[22]	26
Figura 3.3: columna de agua en el área de la maceta[22].....	28
Figura 3.4: Relación de humedad volumétrica con el volumen de agua.....	29
Figura 3.5: Implementación del modelo caja blanca en simulink	1
Figura 3.6: Simulación de riego	27
Figura 3.7: Conversión de litros a lámina de agua	28
Figura 3.8: Ingreso del volumen de agua para el riego	28
Figura 3.9: Subsistema para conversión de volumen de agua y conteo de tiempo.....	26
Figura 3.10: Bloques que muestran el tiempo de riego	30
Figura 3.11: Ingreso de parámetros para determinar el tipo de suelo	30
Figura 3.12: subsistema para el cálculo de la conductividad hidráulica	29
Figura 3.13: ingresos de parámetros físicos según el tipo de suelo	31
Figura 3.14: subsistema para el cálculo de la constante “b” para la ecuación de Campbell	32
Figura 3.15: Bloque de acumuladores	34
Figura 3.16: Subsistema del acumulador	34
Figura 3.17: Lectura de evapotranspiración por minuto	35
Figura 3.18: Tiempo de absorción de 200 litros de agua	37
Figura 3.19: Respuesta del volumen de agua a una entrada escalón de 200 litros.....	37
Figura 3.20: Respuesta de humedad e infiltración a una entrada escalón de 200 litros	38
Figura 3.21: Comparación entre la entrada de agua e infiltración.	39
Figura 3.22: Contadores acumulativos de ingreso y salida de agua.	40
Figura 3.23: Determinación del volumen total de agua almacenado	40

Figura 4.1: Plantas del estudio a utilizar.	42
Figura 4.2: Representación del sistema.	43
Figura 4.3: Representación del sistema SISO	44
Figura 4.4: Diseño de circuito impreso para placa de interfaz.	44
Figura 4.5: Sensores de humedad volumétrica.	45
Figura 4.6: Muestras de suelo para la obtención de ecuación de sensores capacitivos.	45
Figura 4.7: curva de humedad del suelo vs medición del sensor en milivoltios del sensor Fdr-Robotic	46
Figura 4.8: Grafica de la primera ecuación	47
Figura 4.9: Grafica de la segunda ecuación	48
Figura 4.10: Detalle de conexión del circuito electrónico para la censado y control de riego	34
Figura 4.11: HMI del sistema de adquisición de datos	51
Figura 4.12: Implementación de JavaScript en NODE-RED	51
Figura 4.13: Implementación de HTML en NODE-RED	52
Figura 4.14: Implementación en NODE-RED para el almacenamiento y descarga de datos desde el navegador web	52
Figura 4.15: Esquema de la descripción del sistema de adquisición de datos y control de riego	51
Figura 4.16: Importación de la base de datos a Matlab	54
Figura 4.17: Cambio a escala de tiempo	55
Figura 4.18: Obtención de los datos de salida en minutos	55
Figura 4.19: grafica de datos de la salida de humedad en los rangos establecidos	56
Figura 4.20: grafica de datos de la salida de humedad sin punto de operación	57
Figura 4.21: Grafica del panel principal de IDENT con el de importación de datos	58
Figura 4.22: Grafica de selección de grupos de datos para la identificación	59

Figura 4.23: Pantalla principal con los grupos de datos para la identificación	59
Figura 4.24: Pantalla para la estimación de modelos matemáticos	60
Figura 4.25: Diferentes modelos estimados con su porcentaje de ajuste	61
Figura 4.26: Implementación en simulink de la planta identificada	62
Figura 4.27: Simulación de la planta identificada con los datos de entrada del proceso real	63
Figura 4.28: Comparación de respuesta simuladas y del proceso real	64
Figura 5.1: Diagrama en simulink para la comparación de los modelos matemáticos y los datos reales	65
Figura 5.2: Respuesta de los modelos durante una Simulación de 100 días	66
Figura 5.3: Respuestas de los modelos durante una Simulación de 30 días	67
Figura 5.4: Herramienta PID Tuner de Simulink	68
Figura 5.5: Representación de una válvula de accionamiento ON/OFF	69
Figura 5.6: Bloque de actuador – Electroválvula	69
Figura 5.7: Control de agua con una servoválvula	70
Figura 5.8: Control de agua con una electroválvula	71
Figura 5.9: Diferencia entre las respuestas con una servoválvula y una electroválvula	72
Figura 5.10: Diagrama de los modelos matemáticos ante una entrada escalón	73
Figura 5.11: PI_A en modelo caja negra	73
Figura 5.12: PI_B en modelo caja blanca	74
Figura 5.13: Simulación en paralelo ante una entrada escalón	54
Figura 5.14: Respuestas de los modelos matemáticos en paralelo ante una entrada escalón	75
Figura 5.15: Respuesta del controlador en ambos modelos ante diferentes Set Points	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Característica hidrofóbicas.....	36
Tabla 2: Datos de milivoltios correspondiente a la humedad del suelo	46
Tabla 3: Agrupación de los datos de humedad vs milivoltios para la regresión lineal.....	47

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

Cuando se implementa un sistema de riego, no se puede verificar realmente su eficiencia porque se desconoce la pérdida de agua, que es adsorbida por el subsuelo fuera del alcance de la planta, produciendo un desperdicio de agua el cual no puede ser estimado.

Actualmente en la facultad de Agronomía de la Universidad Técnica de Manabí se realizan estudios para determinar el consumo de agua en la planta de cacao bajo condiciones de invernadero, mediante experimentos de evapotranspiración.

Pero para determinar realmente el consumo de agua de una planta es necesario conocer más variables que intervienen en el proceso como es la infiltración y la cantidad de agua aplicada.

Para solucionar esta problemática se propone obtener el modelado matemático del balance hídrico en la zona radicular del cultivo de cacao en condiciones de invernadero, el cual nos permitirá conocer la dinámica del proceso.

Con el objetivo de proporcionar una herramienta para optimizar y validar futuros sistemas de control de riego para cultivos de cacao.

1.2 Justificación

El agua es un recurso preciado ya que es imprescindible para el ser humano. Destinándose grandes cantidades de este recurso vital a la producción de alimentos ya que el agua es un factor muy importante en esta área, llegando a tener un valor económico muy importante. Debido a que el agua no solo es destinada para los procesos agrícolas si no que es muy esencial en otras áreas como el energético, consumo humano, estético y producción industrial es muy importante optimizar el consumo de agua en todas las áreas ya que no es un recurso infinito[1].

En consecuencia, es necesario reducir el consumo de agua y su contaminación para encontrar estrategias de ahorro más eficientes, por tal motivo este trabajo está enfocado a encontrar una herramienta que permita optimizar el consumo de agua en los sistemas de riego.

En los sistemas de riego, optimizar el recurso del agua, no solo significa ahorrar agua, si no ahorrar insumos, reducir costos de electricidad o combustible y mano de obra, a su vez garantizar que la planta tenga la cantidad de agua necesaria para un adecuado desarrollo sin desperdiciar recursos[1].

El espacio que pueden alcanzar las raíces tanto lateralmente como su profundidad se la conoce como la zona radicular de la planta, es en esta sección donde la planta puede adsorber agua y nutrientes necesarios del suelo, el agua que sale de esta zona ya se lo considera como infiltración y esta misma es la cantidad de agua desperdiciada en un riego que no es óptimo para el tipo de cultivo en el que se utiliza.

A su vez, el agua que se infiltra se va llevando un porcentaje de fertilizantes utilizados en el cultivo haciendo aún más ineficiente el mismo y aumentando más la cantidad de fertilizante[2].

Junto a la infiltración otros grandes motivos de pérdidas de agua son la transpiración de la planta y la evaporización del agua sobre la superficie de la tierra y las hojas. Estos dos parámetros son muy difíciles de calcular y a través de métodos experimentales se los ha unido en un solo parámetro llamado la evapotranspiración, el cual puede ser calculado utilizando variables físicas como la temperatura, humedad, radiación solar entre otras[3].

La evapotranspiración es una variable esencial en el manejo de agua y planificación de riego. De ahí la importancia de su cuantificación y análisis[4].

En los sistemas de riego utilizados para los cultivos de cacao en invernaderos no es posible determinar su eficiencia en el ahorro de agua, ya que, por las propiedades de conductividad hidráulica del agua, es posible mantener un nivel de humedad, pero no se podría determinar la cantidad de agua infiltrada sin tener un complejo sistemas de sensores enterrados en el suelo.

Utilizando un modelo matemático, se podrá representar la dinámica del balance hídrico del suelo en la zona radicular de una planta de cacao, esto proporcionará una herramienta para validar la efectividad de futuros sistemas de riego con la menor pérdida de agua posible por infiltración[5].

1.3 Objetivos

1.3.1 General:

Determinar el modelo matemático que represente la dinámica del balance hídrico mediante el análisis de los procesos de evapotranspiración e infiltración en el subsuelo, para el estudio del proceso del consumo de agua de la planta de cacao variedad CCN-51.

1.3.2 Específicos:

- Encontrar las variables significativas que influyen en la dinámica de la planta.
- Determinar las ecuaciones del modelo físico de la retención de agua en la zona radicular.
- Determinar la ecuación de la retención de agua mediante identificación de sistemas.
- Validación del modelo físico y el modelo caja negra mediante simulación y la comparación con el proceso físico real.

1.4 Metodología

Se determinará el modelo del balance hídrico de la planta de cacao mediante dos tipos de estrategias las cuales serán la obtención del modelo físico y el de caja negra para luego simular los dos modelos en paralelo con el proceso real y así realizar el proceso de la validación.

El trabajo se lo desarrollará de la siguiente manera:

- Se utilizarán ecuaciones matemáticas encontradas en la bibliografía para desarrollar el modelo físico del sistema.

- Se desarrollará el experimento para la obtención de datos, para la identificación del modelo de caja negra.
- Se simularán los modelos obtenidos como son el modelo físico y el de caja negra con su posterior análisis y comparación.
- El soporte programático para la identificación y simulación del sistema se compone del programa MATLAB, con su herramienta de identificación IDENT y de simulación SIMULINK.

Los equipos y recursos necesarios para este proyecto son:

- Planta de cacao adulta en maseta.
- Sistema de riego por goteo.
- Electroválvulas.
- Unidad de cómputo.
- Software Matlab y LabView.
- Placa Arduino Mega.
- Raspberry pi Zero
- Sensores de humedad.

1.5 Alcance

Se espera obtener un modelo físico que represente de la manera más precisa posible la retención y pérdida del agua en la zona radicular de una planta de cacao en condiciones de invernadero.

Se realizará el modelo caja negra con el fin de validar los resultados obtenidos en el modelo físico, y una vez obtenida la validación se procederá a realizar la validación con el proceso real para determinar su desempeño.

Una vez ya comprobado el modelo se procederá a realizar simulaciones con un controlador PI para un sistema de riego que minimice la pérdida de agua sin variar los niveles óptimos de humedad.

Con esto se logrará obtener una herramienta para realizar diseño de controladores para futuros sistemas de riego.

Un sistema de riego óptimo, no solo gestiona el consumo de agua correctamente, si no que esto a su vez ahorra de energía eléctrica o combustible, insumos, mano de obra y fertilizantes que se desperdician por la infiltración.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

2.1 Respuesta fisiológica del cacao a la disponibilidad del agua en el suelo

La respuesta del cacao a la disponibilidad de agua en el suelo es muy importante porque de esto determinara su productividad por tal motivo se están realizando contantes estudios para encontrar genotipos que puedan soportar estrés hídrico sí que disminuya su eficiencia de producción.

Teniendo esto en cuenta en zonas cálidas y secas los productores utilizan grandes cantidades de agua en periodos largos donde hay ausencia de lluvias para que la producción no disminuya[6].

Esto genera que se utilicen exceso de agua en el riego desperdiciando grandes cantidades de líquido vital. Por tal motivo es importante conocer la cantidad de agua necesaria y esto puede ser posible a través de un modelo que permita determinar el balance hídrico adecuado para mantener la eficiencia en la producción y al mismo tiempo contribuir en el ahorro de agua.

Ana en su artículo[7] demuestra que la utilización de simulación para determinar el riego es muy importante, ya que ello pude proporcionarnos varios escenarios para estar preparados durante las diferentes etapas del cultivo. Esto es posible gracias a los modelos matemáticos como los del balance hídrico, lo cual ha llevado a que muchas más personas se involucren el estudio de las dinámicas de la humedad en el suelo, tal como lo hace Carlos[8] el cual con su modelo pude determinar la cantidad de agua estimada para que la humedad alcance una profundidad establecida necesaria para el cultivo. A su vez Miguel[9] demuestra que la utilización de modelos matemáticos puede llegar a ser una herramienta muy útil para la predicción del consumo de agua. Obtener todas estas variables en nuestro medio no siempre es posible, debido a la diversidad del suelo muchas veces la modelación ideal es poco práctica ya que consume muchos recursos, por lo cual haya que recurrir a la utilización de modelos de Caja Negra, para lo cual debemos utilizar técnicas de censado para la determinación de las frecuencias de riego como lo hace Jairo[6].

2.1.1 Potencial hídrico xilemático

Es la presión de circulación de agua en las xilemas del tallo y de las hojas de la planta esto nos da el contenido de agua en las hojas de las plantas esto es muy importante ya que dependiendo de la cantidad de agua en el suelo dependerá el potencial hídrico xilemático a periodos más grande de sequía menos cantidad de agua es transportada por las xilemas hacia las hojas lo cual afecta en la apertura de las estomas y la absorción de carbono debido a la disminución de fotosíntesis[10].

2.1.2 Conductancia estomática

La conductancia estomática es un indicador muy importante para determinar la cantidad de agua en los sistemas de riego. Ya que dependiendo de la apertura estomática regulando permite regular la transpiración y la fotosíntesis.

Esta regulación depende de la cantidad de la disponibilidad hídrica en el suelo por tal razón dependiendo del balance hídrico podemos podríamos aumentar la eficiencia en el consumo de agua en los sistemas de riego[10]

2.1.3 Flujo de savia

la savia es básicamente agua con la se conduce desde las raíces hasta las hojas transportando los nutrientes. Entonces al momento que llega a las hojas y esta al ser calentada por la radiación solar es liberada por las estomas en forma de vapor de agua esto se traduce en pérdida de agua, que va a depender de la regulación de las estomas y de índice foliar de la planta[11].

es una herramienta que permite determinar en una forma precisa la tasa de transpiración a escala diaria[12].

2.2 Estática y dinámica del agua en suelo

el agua es un recurso único y fundamental en la agricultura ya que conocer el comportamiento de ella en el suelo es muy importante para la programación de

riego, ya que los estudios han demostrado lo importante que es el suministro óptimo de acuerdo a las necesidades de la planta para un adecuado crecimiento y alta eficiencia en las cosechas[13].

Ya que cada especie va a tener sus propios requerimientos de acuerdo a su fisiología y tipo de suelo en la cual este plantada. Por tal motivo es importante conocer los siguientes conceptos que determinan el comportamiento del agua en el suelo y así obtener una ecuación de balance hídrico que represente lo más cercano a su dinámica ya que esto nos permitirá conocer su comportamiento y determinar una estrategia de riego adecuada[14].

2.2.1 Capacidad de campo

la capacidad de campo es la cantidad líquido que puede retener el suelo después de a ver sido saturado[15].

2.2.2 Punto de marchitez permanente

Es el punto de humedad donde la planta ya no puede seguir extrayendo agua del suelo, y provoca que la planta muera por falta del agua.

El punto de marchites permanente va a diferir del tipo de suelo y cultivo que este en él[16].

2.2.3 Conductividad hidráulica

la conductividad hidráulica es una variable muy importante en el estudio de suelos, esta determina el movimiento que tiene el agua dentro de la capa de tierra en el suelo. Es la tasa de absorción de columna de agua en un periodo determinado de tiempo.

La conductividad hidráulica va a depender del tipo de suelo y la saturación del mismo[14].

2.3 Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración a la pérdida de agua en el suelo debido a la evaporación directa en combinación con la transpiración de la planta.

Este es un parámetro influye en la ecuación de balance hídrico del suelo, ya que es uno de los causantes de pérdida de agua. Ya que depende de la condición climática y de la fisiología de la planta, así como de sus etapas de crecimiento, es una variable que debe ser tratada con cuidado ya que si no se determina bien puede generar datos erróneos con alto margen.

2.3.1 Evaporación

La evaporación del agua en el suelo se da por la energía de radiación neta almacenada durante el día, esta energía es utilizada por procesos biológicos que se dan en la corteza terrestre, pero hay una gran cantidad de ella que se disipa como calor por convección y en calor latente en la evaporación del agua.

Al analizar cómo se produce la evaporación del agua nos damos cuenta que la radiación neta necesaria en la evaporación del agua va a depender de las condiciones climáticas ya que la radiación solar aumenta o disminuye conforme al comportamiento del clima durante el año[17].

2.3.2 Transpiración

Por efecto de la temperatura en el ambiente, genera la evaporación de líquido entre los espacios celulares de la planta y cuando los estomas se abren para la captación de CO_2 ; este proceso libera vapor de agua debido a la diferencia de presión existente entre la hoja y el aire[18].

Por lo tanto, la transpiración es la pérdida de agua generada en las estomas la cual va a depender de la temperatura ambiental.

2.4 Adquisición de datos

2.4.1 Software.

El Software utilizado es un conjunto de herramientas informáticas; que nos permiten desarrollar las tareas de control, análisis y comunicación

para el desarrollo de los objetivos planteados, para lo cual utilizaremos los siguientes.

- **Ide arduino**

El entorno de programación de arduino, es una herramienta desarrollada en java multiplataforma la cual nos permite crear programas que luego pueden ser implementos en los microcontroladores de las placas de desarrollo arduino[19].

- **Node red**

NODE-RED es una es un entorno de programación basado en NODE.JS, el cual permite tener un lenguaje de programación mixto. Con programación de bloques gráfico en nodos organizados en flujos y código estructurado en JavaScript o HTML, lo cual permite un desarrollo muy flexible y rápido.

Esta herramienta de programación permite conectar con facilidad a placas de prototipado rápido (arduino), PLC, servidores, bases de datos, API y servicios en líneas. La cual la vuelve una herramienta muy versátil y potente[20].

- **Apache**

Es un servidor web http el cual me permite tener conexiones bidireccionales con almacenamiento de páginas web, así como también bases de datos. Las cuáles serán visibles tanto para el cliente como el servidor dependido de la credencial otorgada para el uso, manejo o modificación de datos

- **Matlab**

Es un software de utilizado comúnmente para el análisis de datos, modelación matemática y desarrollo de algoritmos. Utilizado ampliamente en el mundo por la comunidad académica y de desarrollo tecnológico. Y junto con su herramienta Simulink con su forma de programación gráfica,

nos permiten implementar modelos dinámicos para el análisis basado en simulación.

2.4.2 Hardware

Son los elementos físicos que junto con el software nos permiten desarrollar la recolección de datos, el procesamiento y generar una respuesta física o virtual.

Una vez analizado el proceso se decidió utilizar el siguiente hardware que nos permitirán cumplir con nuestros objetivos.

- **Arduino nano**

Es una placa de desarrollo ampliamente utilizado en el prototipo basado en un microcontrolador el cual cuenta con entradas y salidas analógicas como digitales, con las cuales permite conectar sensores para la recolección de datos y actuadores para el accionamiento de elementos físicos como electroválvulas y contactores.

- **Raspberry pi Zero**

Es un mini ordenador que con su sistema operativo Raspbian nos permite comunicarnos con tarjetas de adquisición de datos. obtenido los datos para su análisis y almacenarlos, utilizando otros softwares como apache y NODE-RED instalados en ella.

Una ventaja de esta placa, es su bajo costo y tamaño reducido. La cual hace muy atractiva en el uso de prototipo y la implementación en experimentación.

- **Rtc**

Es un dispositivo con comunicación I2C el cual permite tener guardada en su EEPROM la hora y fecha. Gracias a su bajo consumo de 500nA podemos colocar una batería de litio de CR2032 la cual nos podrá dar el respaldo de la hora y fecha de al menos 10 años a una temperatura de 25 °C.

- **Sensores capacitivos**

El sensor capacitivo para la medición de humedad del suelo, mide los cambios en la capacitancia del suelo al variar su humedad, en vez de medir la conductibilidad como lo hacen los sensores de conductancia eléctrica, ya que su medición puede ser muy inexacta de acuerdo a la cantidad de minerales en el suelo o el agua utilizada para el riego.

Mientras que el sensor capacitivo al realizar la medición a frecuencias mayores de 27 MHZ, la afectación de las medidas por la salinidad y temperatura del suelo son mínimas[21].

CAPITULO 3

3 MODELO BASADO EN ECUACIONES FÍSICAS

3.1 Ecuación General de Balance Hídrico

El balance hídrico de un volumen de suelos, está determinado por la diferencia que hay entre la cantidad de agua que ingresa y la cantidad de agua que es retirada durante un periodo de tiempo, esta diferencia es igual a la variación de almacenaje en ese periodo de tiempo. Por lo cual es conveniente identificar todas las vías de entrada y salida de agua en la tierra.

$$Lp + Lr + Lq \pm Ld - Let = \Delta L \quad (3.1)$$

Donde:

ΔL → Lámina de agua acumulada en el sistema

Lp → Lamina de agua de lluvia o precipitación

Lr → Lamina de agua aplicada por riego

Lq → Lamina de agua que escurre sobre el suelo sin penetrar

Ld → Lamina de agua perdida por drenaje o percolación, puede ser positiva (aporta agua) si existe un ascenso capilar

Let → Lamina de agua perdida por evapotranspiración

Considerando que los cálculos son realizados para un ambiente artificial el cual no está expuesto a la lluvia, además que la planta al estar en una maceta no existirá escurrimiento afirmamos lo siguiente:

$Lp = 0$ La maceta tiene cubierta.

$Lq \approx 0$ El riego se hace a una velocidad menor a la velocidad de infiltración evitando el encharcamiento y por ende el escurrimiento, considerando que esto se realiza dentro de una maceta.

Ld es (–) Al sistema al estar en una maceta no esta conectado al nivel freático de la tierra con lo cual no puede haber un ascenso capilar.

Con las consideraciones expuestas anteriormente la ecuación de balance hídrico a utilizar es la siguiente:

$$Lr - Ld - Let = \Delta L \quad (3.2)$$

En la cual cada parte de la ecuación estará en las unidades milímetros [lámina] por hora (mm/h) .

3.1.1 Agua almacenada

Para expresarlo en variable de humedad Volumétrica (Θ_v) es necesario relacionar la profundidad de la maceta con la humedad y la lámina de agua, por lo cual aplicamos la siguiente ecuación:

$$L = \theta * Z \quad (3.3)$$

Donde:

L → es la lámina de agua en mm

θ → es la humedad volumétrica en $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

Z → es la profundidad de la medida de tierra en mm

Siendo la profundidad siempre constante podemos obtener una relación entre el cambio de la lámina de agua y el cambio de la humedad

$$\Delta L = Z * \frac{d\theta}{dt} \quad (3.4)$$

Dónde:

ΔL → es el desvío o magnitud de cambio de lámina de agua en mm/h

$\frac{d\theta}{dt}$ → es la derivada de la humedad volumétrica en relación al tiempo.

Z → es la profundidad de la medida de tierra en mm

3.1.2 Percolación

La percolación es la tasa de infiltración luego de cierta profundidad y esta última está directamente relacionada con la conductividad hidráulica (velocidad de adsorción), teniendo en cuenta que la percolación también y esta depende de la humedad inicial del suelo.

La Conductividad Hidráulica es alta cuando el suelo está saturado y decrece rápido en suelos no saturados.

$$K = K_s \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^m \quad (3.5)$$

Dónde:

K → es el Conductividad Hidraulica

θ → Contenido de humedad volumetrica actual. $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

θ → Contenido de humedad volumétrica del suelo a saturación.
 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

m → es un coeficiente que se calcula con la siguiente ecuación:

$$m = 2 * b + 3 \quad (3.6)$$

Como:

$$b = \frac{\ln(Y_{pmp}) - \ln(Y_{cc})}{\ln(\theta_{cc}) - \ln(\theta_{pmp})} \quad (3.7)$$

Donde:

Y_{pmp} → Potencial Matrico del suelo en el punto de
marchitez permanente.

Y_{cc} → Potencia Matrico del suelo en Capacidad de campo

θ_{cc} → Humedad a Capacidad de campo

θ_{pmp} → Humedad en el punto de marchite permanente

La conductividad en estado de saturación es:

$$K_s = 180 * \exp[-4,26 * (Ac + L)] \quad (3.8)$$

Dónde:

Ac → porcentaje/100 de Arcilla en la tierra

L → porcentaje/100 de Limo en la tierra

De la ecuación 5, podemos separar la parte constante de la humedad volumétrica variable, obteniendo la siguiente ecuación.

$$K = \left(\frac{K_s}{\theta_s^m}\right) * \theta^m \quad [cm/día] \quad (3.9)$$

Donde $\left(\frac{K_s}{\theta_s^m}\right)$ es constante, lo cual desde ahora se llamara $W1$.

Quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$K = W1 * \theta^m \quad [cm/día] \quad (3.10)$$

Como la conductividad hidráulica está relacionada con la percolación utilizamos la siguiente ecuación de infiltración para encontrar el coeficiente de relación. Esta ecuación es utilizada para determinar la tasa infiltración la cual utilizan en la práctica denominada zanja de percolación.

$$Q = 315,5 * \left(\frac{h}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \left[Lámina \text{ en } \frac{mm}{día}\right] \quad (3.11)$$

Dónde:

h → es altura o distancia que desciende el agua [mm]

t → tiempo [sg]

Como

$\left(\frac{h}{t}\right)$ es la altura que desciende el agua en un tiempo determinado mientras es adsorbida por el suelo, es decir, es la velocidad de infiltración calculada de forma práctica usando los métodos experimentales en campo, por lo cual podemos reemplazar la ecuación por:

$$Q = 315,5 * K^{1/2} \quad (3.12)$$

Donde la velocidad de infiltración “K1” de la ecuación 12 esta expresada en unidades de mm/sg, por lo cual hay que realizar la respectiva conversión de la ecuación N° 10 donde “K” esta expresada en [cm/día], obteniendo:

$$Q = 315,5 * (8640^{-1} * K)^{1/2} \quad \left[\text{Lámina en } \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right] \quad (3.13)$$

$$Q = C1 * (K)^{1/2} \quad \left[\text{Lámina en } \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right] \quad (3.14)$$

Donde:

$C1$ → Constante igual a 3,3942

Q → esta dado en Lamina de agua $\left[\frac{\text{mm}}{\text{día}} \right]$ o $\left[\frac{\text{Ltr}}{\text{m}^2 * \text{día}} \right]$

K → Conductividad hidráulica de la Ec. 10 dado en $\left[\frac{\text{cm}}{\text{día}} \right]$

Reemplazando K de la Ec. 10 en la Ec.14 obtenemos:

$$Q = W2 * \theta^{m/2} \quad (3.15)$$

Donde:

$W2 \rightarrow$ Constante igual a $C1 * W1^{1/2}$

3.1.3 Evapotranspiración

La evapotranspiración del cultivo está relacionada con la evapotranspiración de referencia, que para la zona de estudio el valor de promedio es de 5 mm/día, pero también se pueden utilizar los datos de la evapotranspiración de referencia diaria proporcionados por una estación meteorológica de la zona. Estos datos ingresan directamente a la simulación previa las respectivas conversiones de unidades de tiempo y el coeficiente de consumo de agua (Kc) característico de cada cultivo, el mismo que varía según el follaje, edad, especie y tamaño de la planta ya expuestos en tablas por investigaciones anteriores.

$$Let = 5 * Kc \quad [Lamina \text{ en } mm/día] \quad (3.16)$$

3.1.4 Ecuación final de balance hídrico

Con el análisis detallado de cada parte de la ecuación de balance Hídrico a utilizar (Ec. 2) obtenemos lo siguiente:

$$Lr - W2 * \theta^{\frac{m}{2}} - 5 * Kc = Z * \frac{d\theta}{dt} \quad (3.17)$$

3.2 Lamina de riego

Para poder simular las propiedades físicas de la tierra en lo que corresponde a la adsorción del agua, en este caso a la lámina de agua aplicada por riego, es necesario tener en cuenta que el agua no ingresa a la tierra instantáneamente, y por estudios de suelo se determina la tasa de infiltración de agua en un periodo de tiempo.

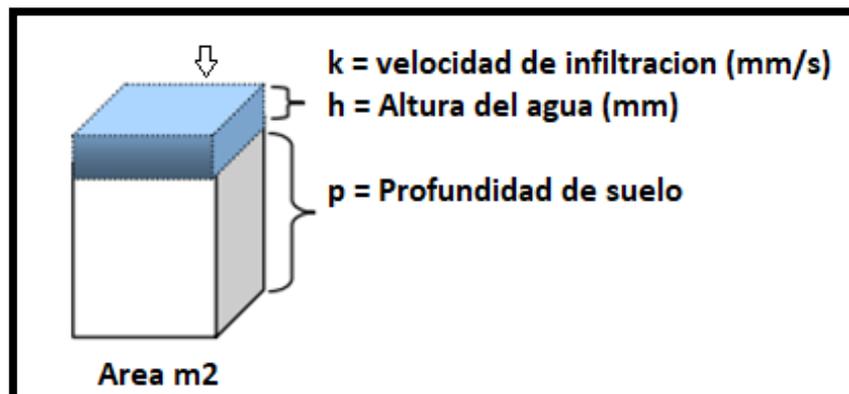


Figura 3.1: Representación de la lámina de agua.

Se utiliza la terminología milímetros de lámina para definir la cantidad de agua, 1 milímetro de lámina de agua corresponde a un litro en un área de 1 metro cuadrado.

Como el área de la maceta es 0.43 m², tenemos que relacionar el volumen de agua en litros con la columna de altura en milímetros de lámina de agua.

Sabiendo que:

1 milímetro de lámina equivale a 1 litro en 1 metro cuadrado por 1 milímetro de altura.

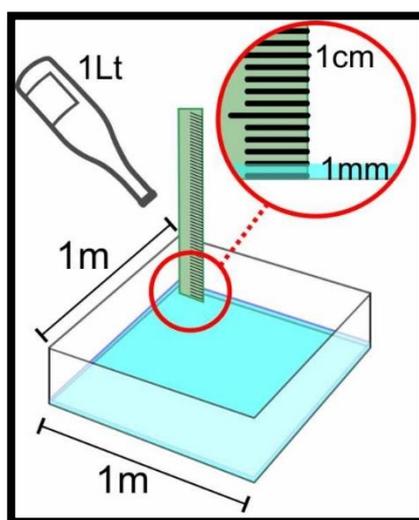


Figura 3.2: Volumen en un milímetro de lámina de agua[22]

Para relacionar esta afirmación calculamos el volumen correspondiente a las medidas mencionadas y lo relacionamos con la cantidad de agua que se puede almacenar en un metro cubico.

Calculado en forma de volumen:

$$V = 1m * 1m * 0.001m \text{ (altura 1 mm)} = 0.001 m^3$$

Considerando que 1 metro cubico tiene 1000 litros, obtenemos:

$$\frac{1 m^3}{1000 lt} = \frac{0.001m^3}{X}$$

$$x = 1 lt$$

Como el área de la maceta no es 1 metro cuadrado, si no 0.43 metros cuadrados, calculamos la nueva altura que se necesita para mantener el mismo volumen es decir 1 litro o 0.001 metros cúbicos, y el área se mantiene constante en 0.43 metros cuadrados.

$$V = \text{Área} * h \quad (3.18)$$

$$0.001 = 0.43 * h$$

$$h = \frac{0.001}{0.43}$$

$$h = 0.0023 \text{ metros}$$

Es decir, para mantener 1 litros en un área de 0.43 m² debe tener una altura de 2.3 milímetros.

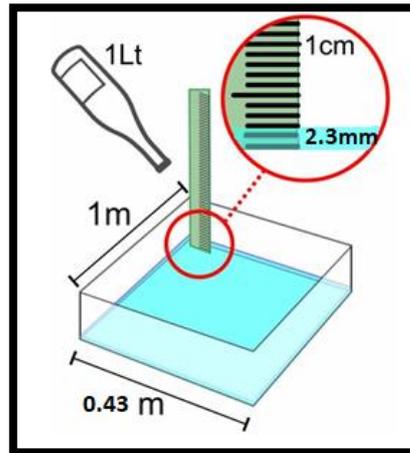


Figura 3.3: columna de agua en el área de la maceta[22].

Generalizando la ecuación para los cálculos de diferentes cantidades de agua en litros obtenemos.

$$h = \left(\frac{\text{Volumen}[m^3]}{\text{Area}[m^2]} \right) * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} [mm] \quad (3.19)$$

Como:

$$\text{Volumen}[m^3] = \frac{\text{litros}}{1000}$$

Y el área es 0.43 m²

$$h = \left(\frac{\left(\frac{\text{litros}}{1000} \right) [m^3]}{\frac{0.43 [m^2]}{1}} \right) * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$h = \left(\frac{\text{litros} [m^3]}{0.43 * 1000 [m^2]} \right) * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$h = \frac{\text{litros}}{0.43} [mm] \quad (3.20)$$

Con la ecuación anterior ya podemos ingresar a la simulación una cantidad cualquiera de agua en litros y automáticamente obtenemos la columna de agua correspondiente en milímetros para el área de la maceta, a su vez con un sistema de resta con memoria se ingresa la cantidad máxima de agua que puede adsorber la tierra por minuto (la cual viene expresada en altura respecto a un tiempo (velocidad)) conocida como conductividad hidráulica saturada o velocidad máxima de adsorción.

3.3 Conversión de la humedad volumétrica a volumen de agua almacenado

La variable de salida del sistema es la humedad volumétrica, la cual representa la masa de agua contenida por unidad de masa del suelo, y para conocer la cantidad de agua almacenada es necesario relacionar esta variable con el volumen total del suelo y expresarlo en litros.

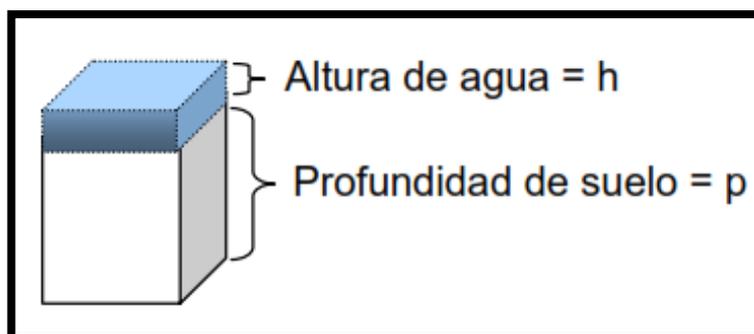


Figura 3.4: Relación de humedad volumétrica con el volumen de agua

La relación entre la altura de agua (h), la profundidad del suelo (p) y la humedad volumétrica (θ_v) es la siguiente:

$$\theta_v = \frac{V_a}{V_t} = \frac{S \cdot h}{S \cdot p} = \frac{h}{p}$$

Donde:

θ_v → Humedad volumetrica

V_a → Volumen de agua

$V_t \rightarrow$ Volumen total

$S \rightarrow$ Area del suelo

$h \rightarrow$ altura del agua

$p \rightarrow$ profundidad del suelo

Despejando obtenemos:

$$h = \theta v * p$$

Donde

$h \rightarrow$ altura en mm

$\theta v \rightarrow$ Humedad(cm³/cm³)

$p \rightarrow$ profundidad en mm

Calculada la altura de la masa de agua, solo hace falta multiplicarla por el área de la maceta para finalmente obtener el volumen total de agua.

$$V = h * A$$

Donde:

$h \rightarrow$ altura m (es necesario transformar)

$A \rightarrow$ área en m²

$V \rightarrow$ volumen en m³

3.4 Diagrama, sistema principal

Utilizando la Ecuación final de balance hídrico 3.17 se diseñó en simulink el modelo caja blanca para simular la dinámica del riego, adsorción almacenaje y perdida de agua en una maceta con una planta de cacao

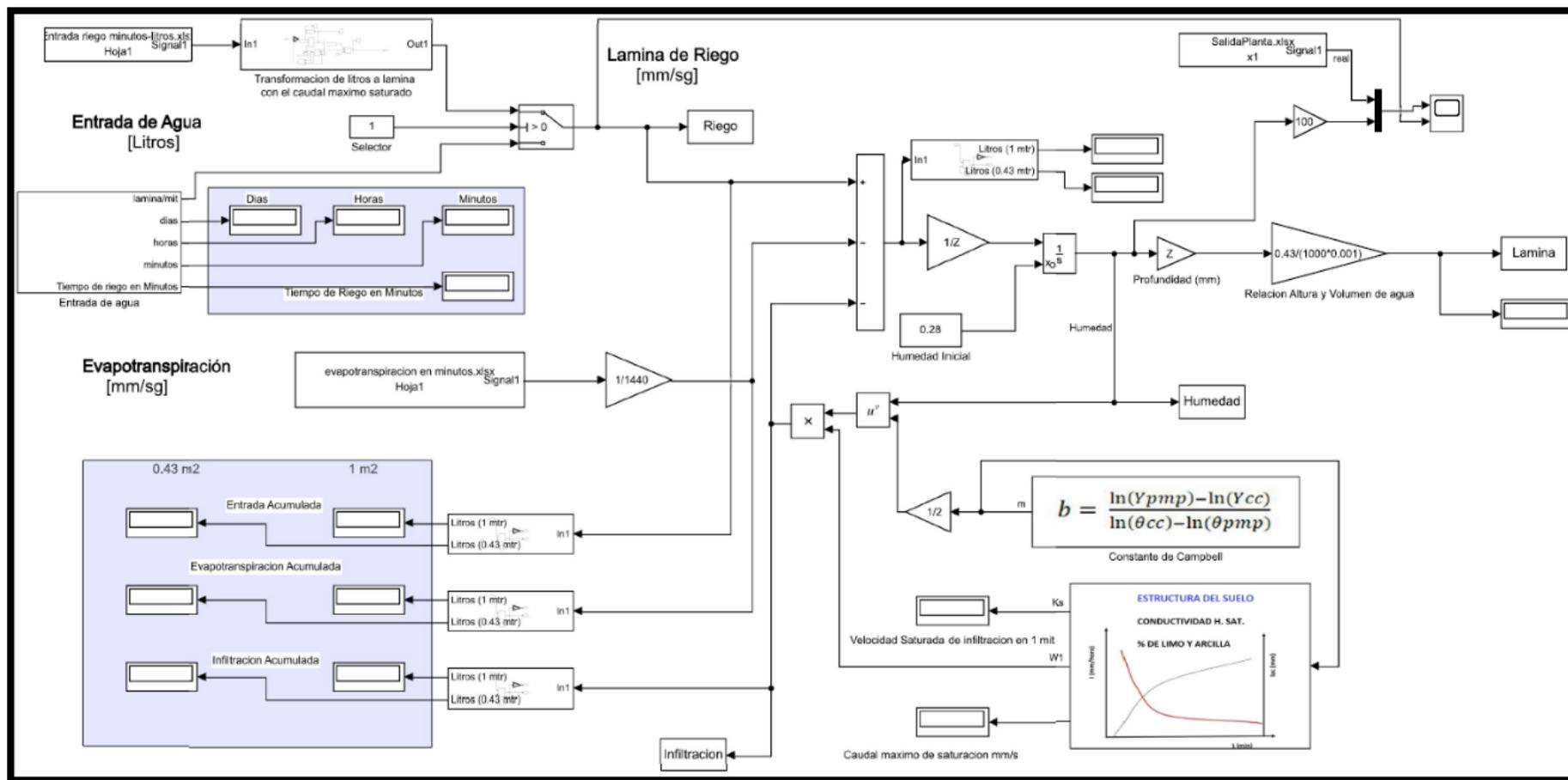


Figura 3.5: Implementación del modelo caja blanca en simulink

3.4.1 Entrada de agua

El ingreso de agua al sistema en la caja blanca puede realizarse de dos maneras, la primera es ingresando los datos obtenidos en las mediciones reales a través de una tabla de Excel y la segunda es ingresando manualmente la cantidad de litros total que se va a regar, esta última es para ver la respuesta escalón del sistema.

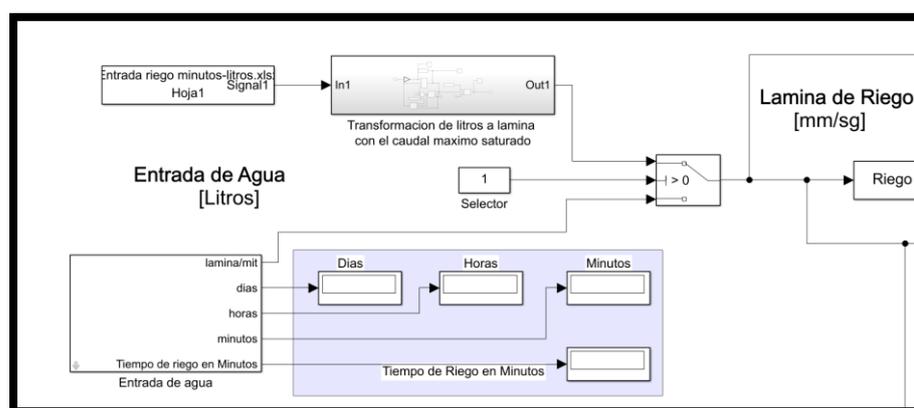


Figura 3.6: Simulación de riego

Utilizando un selector seleccionamos el tipo de ingreso de datos que deseamos utilizar. Cada forma de ingreso de datos tiene un subsistema para el tratamiento de la información antes de entrar al sistema general.

3.4.1.1 Entrada de datos reales

En este subsistema se realiza la lectura directamente de una tabla de Excel donde se encuentran en minutos los tiempos y las cantidades que se han regado. Ya que la cantidad de agua suministrada está representada en litros y como un valor total de riego en ese periodo, es necesario transformar esa cantidad de agua a un valor que represente la columna de agua para el área de la maceta como anteriormente se mencionó. De esta manera por cada ciclo de reloj que representa un minuto de tiempo, la columna de agua disminuye la máxima adsorción que tendrá el suelo en ese periodo de tiempo, y con la ayuda de una resta con

memoria se puede ir disminuyendo la columna de agua hasta agotarla completamente. Ya que la tasa de adsorción es un valor constante a través de un comparador se envía el valor correcto mientras aun haya agua por regar.

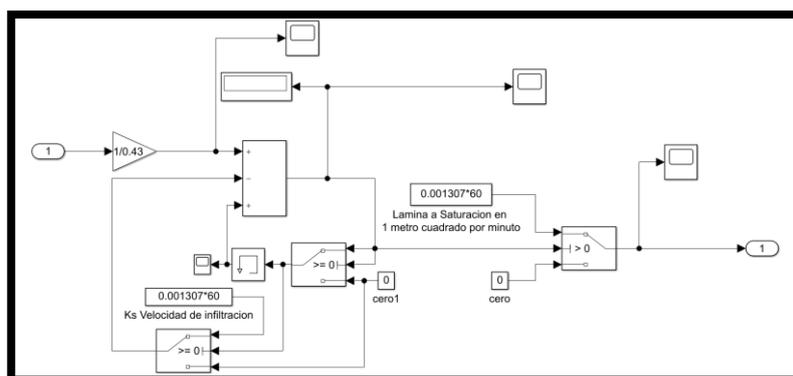


Figura 3.7: Conversión de litros a lámina de agua

3.4.1.2 *Entrada de datos manual*

A diferencia de la entrada de datos reales, se ingresa una sola cantidad de agua en litros, esto con el fin de probar la respuesta tipo escalón.

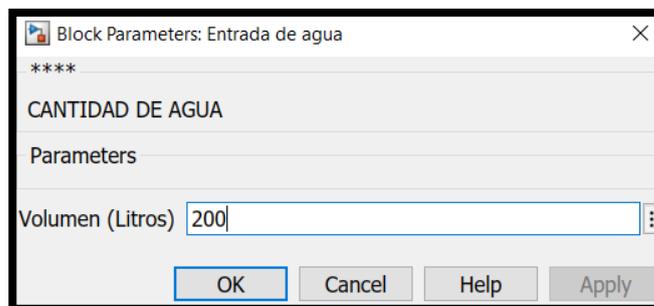


Figura 3.8: Ingreso del volumen de agua para el riego

Este valor recibe el mismo tratamiento que el proceso anterior, a diferencia que este contabiliza el tiempo y lo expresa en días, horas y minutos que demora en ser adsorbida la cantidad de agua ingresada, con la finalidad de su rápida interpretación, comparación y análisis.

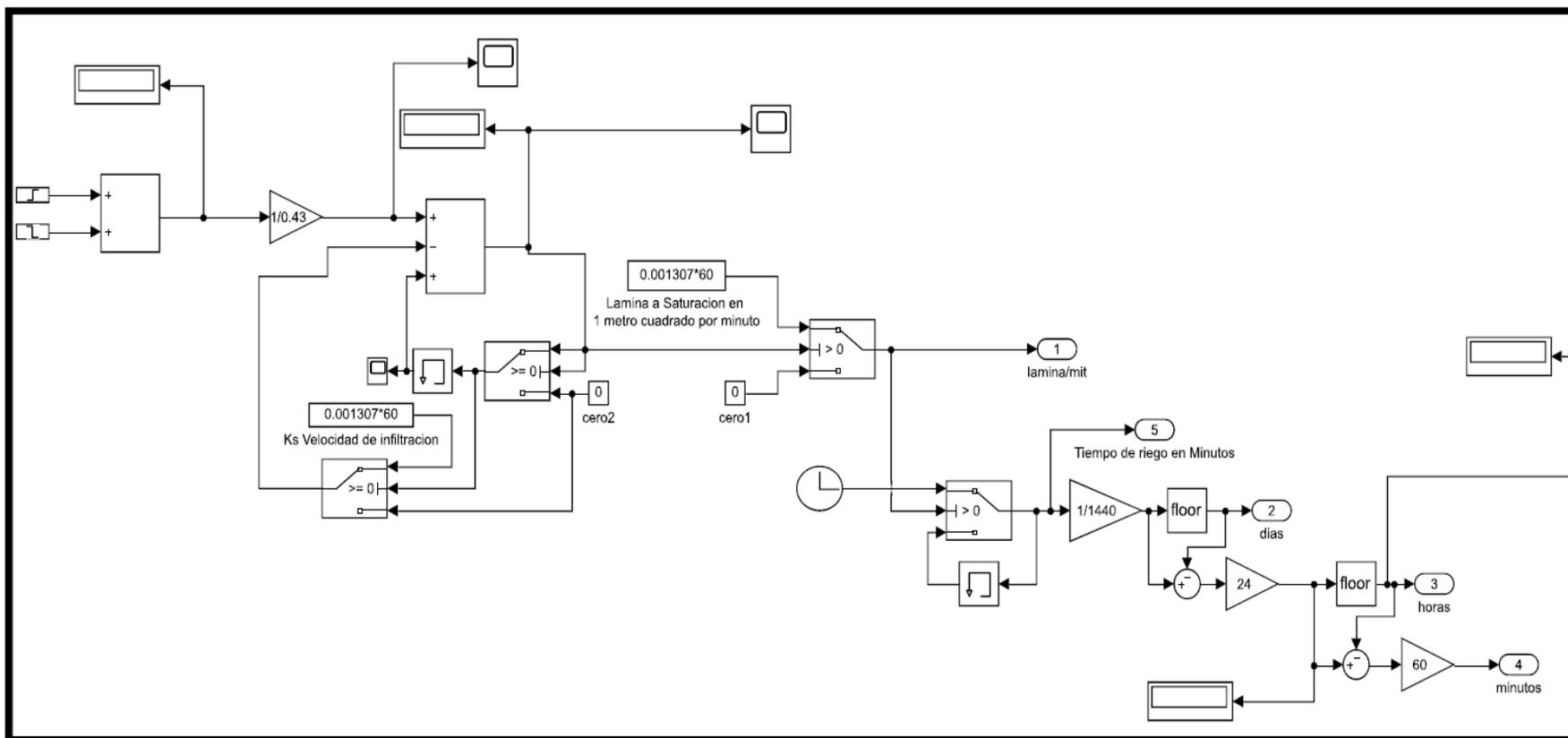


Figura 3.9: Subsistema para conversión de volumen de agua y conteo de tiempo

Realizado esto, procedemos obtener la respuesta de la caja blanca ingresando 200 litros de agua con un tiempo de simulación de 10 días.

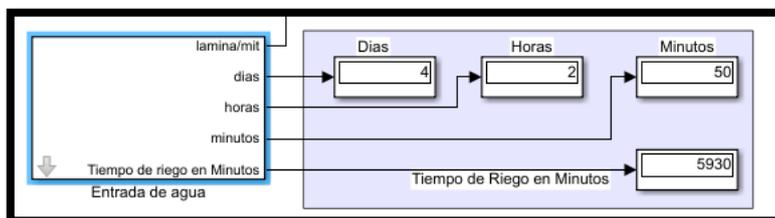


Figura 3.10: Bloques que muestran el tiempo de riego

Un total de 4 días con 2 horas y 50 minutos es lo que demora en ser adsorbida por la tierra la columna de agua que contiene 200 litros en un área de 0.43 m². Estos tiempos de adsorción son útiles en la parte académica para ser contrarrestados con el tiempo de absorción teórico de cada tipo de suelo.

3.4.2 Conductividad Hidráulica Saturada

En este subsistema de ingresan los porcentajes de arcilla y limo de la tierra, así como la humedad volumétrica Saturada, parámetros necesarios para calcular la conductividad hidráulica saturada y la constante W2 procedente de las ecuaciones 3.15.

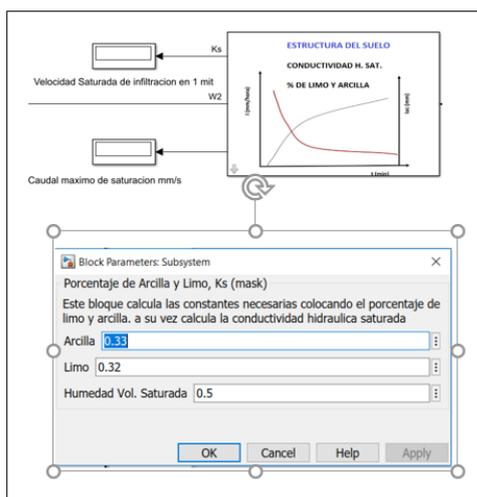


Figura 3.11: Ingreso de parámetros para determinar el tipo de suelo

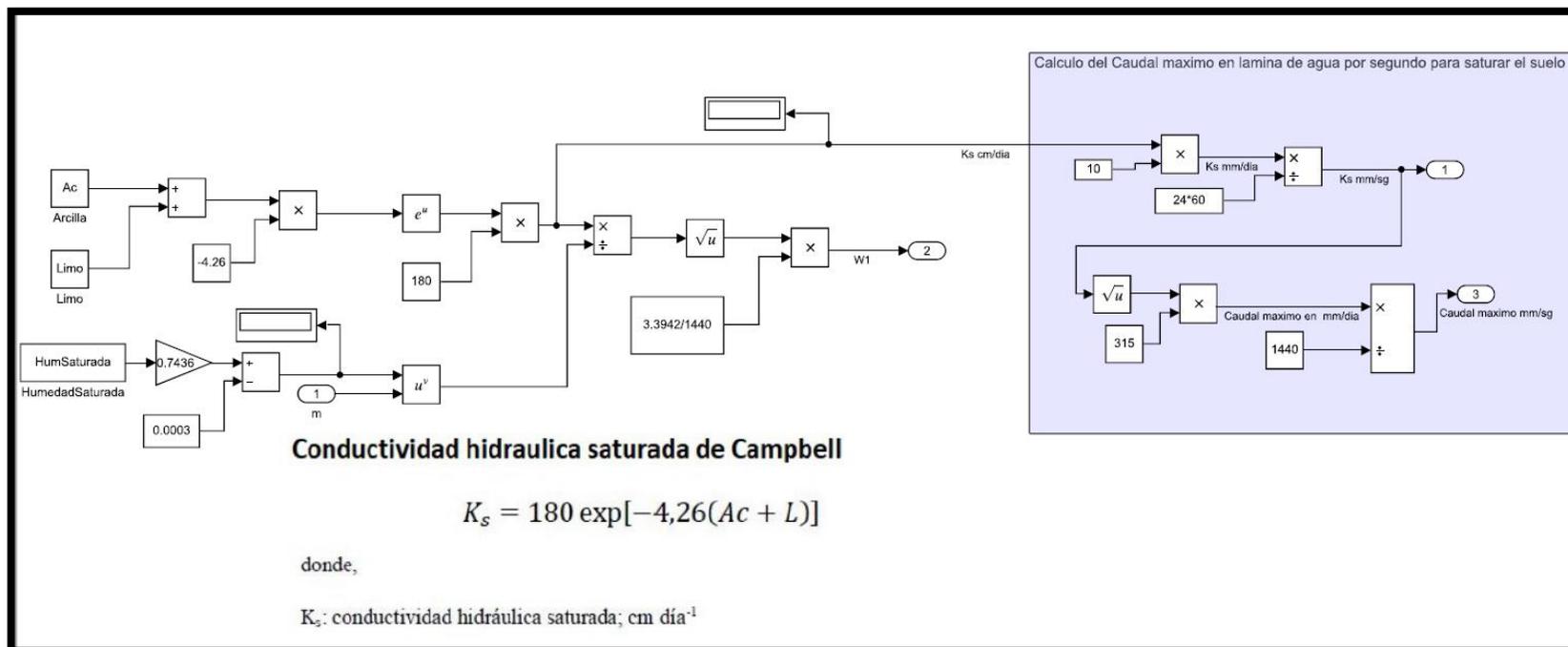


Figura 3.12: subsistema para el cálculo de la conductividad hidráulica

3.4.3 Subsistema para el cálculo de la constante B de la ecuación de Campbell

La constante “b” utilizada para calcular el coeficiente “m” de la ecuación N°5 para el cálculo de la conductividad hidráulica Dinámica, utiliza parámetros propios de cada suelo, con son:

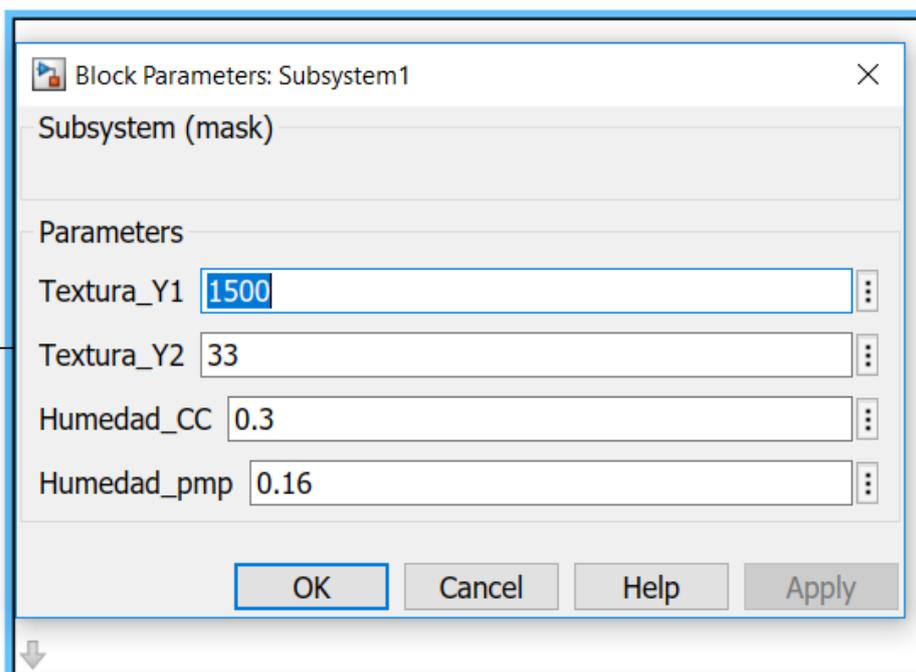
Y_{pmp} → Potencial Matrico del suelo en el punto de marchitez permanente.

Y_{cc} → Potencia Matrico del suelo en Capacidad de campo

θ_{cc} → Humedad a Capacidad de campo

θ_{pmp} → Humedad en el punto de marchite permante

Datos obtenidos del laboratorio de suelo de la Universidad Técnica de Manabí.



The image shows a software dialog box titled "Block Parameters: Subsystem 1". It contains a "Subsystem (mask)" field and a "Parameters" section with four input fields, each with a vertical ellipsis menu icon to its right. The values entered in the fields are: Textura_Y1 (1500), Textura_Y2 (33), Humedad_CC (0.3), and Humedad_pmp (0.16). At the bottom of the dialog are four buttons: OK, Cancel, Help, and Apply. A scroll-down arrow is visible at the bottom left corner of the dialog box.

Parameter	Value
Textura_Y1	1500
Textura_Y2	33
Humedad_CC	0.3
Humedad_pmp	0.16

Figura 3.13: ingresos de parámetros físicos según el tipo de suelo

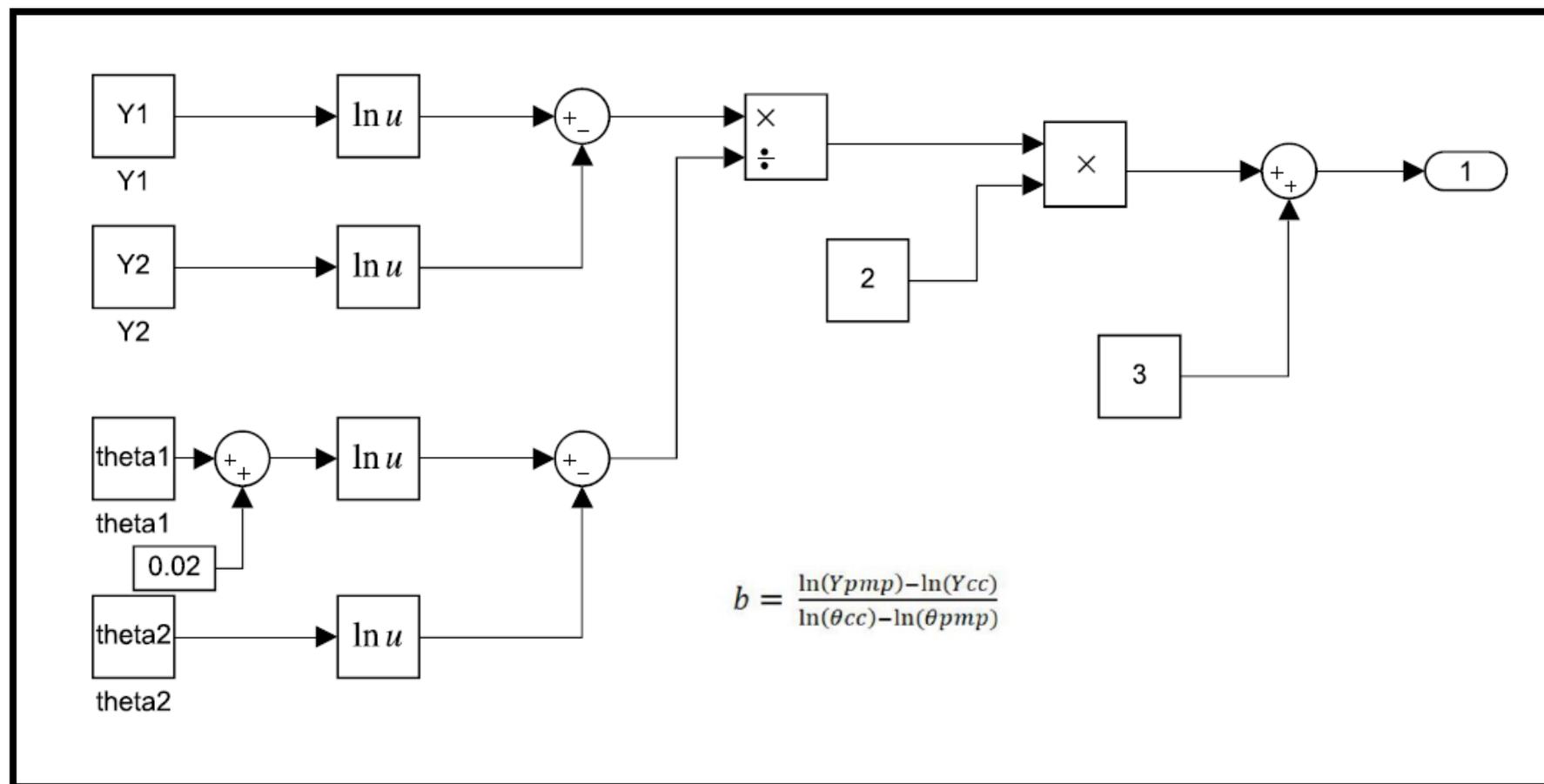


Figura 3.14: subsistema para el cálculo de la constante “b” para la ecuación de Campbell

3.4.4 Medidores Acumulativos

Para simplificar el análisis y la comprobación se diseñaron sumadores acumulativos que contabilizan y convierten a litros la cantidad de agua que es ingresada al sistema como riego y el agua perdida por medio de la evapotranspiración e infiltración. Mostrando resultados en 1 metro cuadrado y su equivalente en el área de la maceta de 0.43 metros cuadrados.

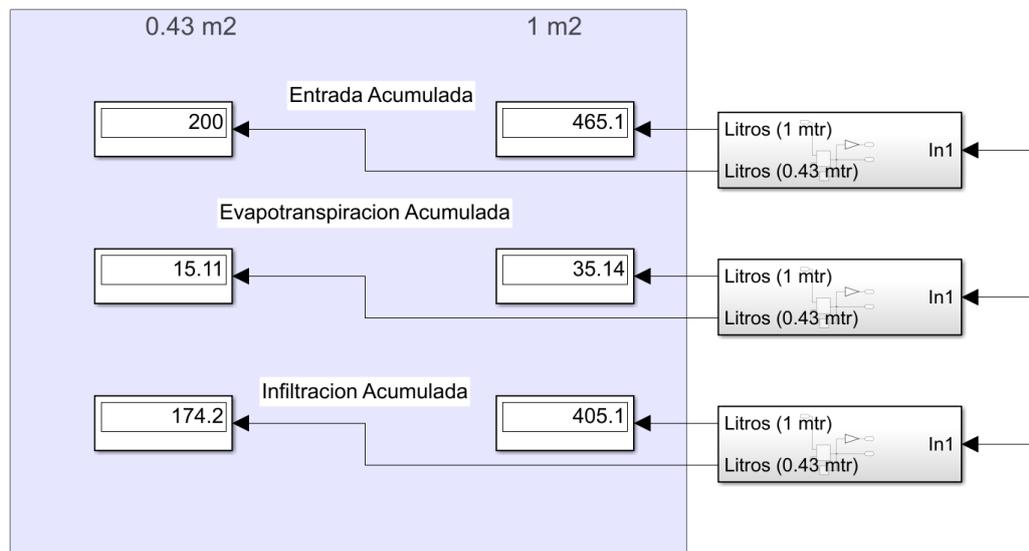


Figura 3.15: Bloque de acumuladores

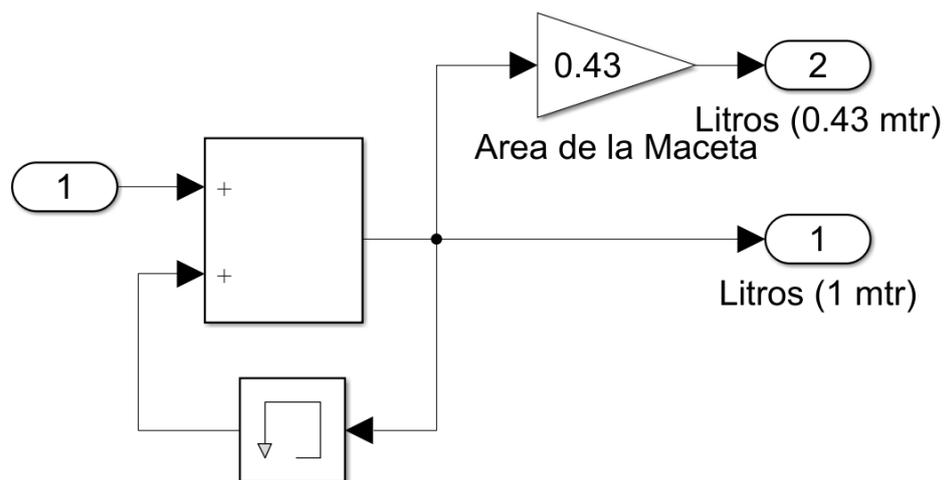


Figura 3.16: Subsistema del acumulador

3.5 Lectura de la Evapotranspiración

Ya que los valores de evapotranspiración son promedios diarios proporcionados por la estación meteorológica, y la simulación es en minutos es necesario dividir cada valor para la cantidad total de minutos en el día. A su vez como el coeficiente de consumo de agua (K_c) es igual a uno (valor proporcionado por la UTM) el ingreso del dato en forma de lámina de agua queda de la siguiente manera:

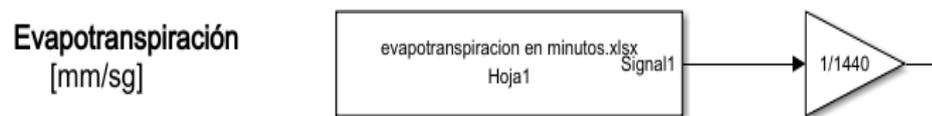


Figura 3.17: Lectura de evapotranspiración por minuto

3.6 Análisis general del sistema físico real.

Se trata de una planta de cacao en edad adulta sembrada en una maceta con un volumen de 0.43 metros cúbicos aproximadamente, ubicada en el área experimental de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí. El sitio contaba con instrumentos para monitorear humedad volumétrica del suelo y evapotranspiración de referencia; para este trabajo se consideró información de un periodo de 8 meses.

El riego de las plantas se realizaba cada 4 días de acuerdo a la demanda, para ello con los datos de la estación meteorológica del área experimental se calculaba el consumo de agua de la planta y junto con los datos adquiridos con el sensor de humedad volumétrica se realizaba el balance de agua en la zona radicular de las plantas.

El suelo donde estaba establecida la planta se homogenizo para permitir una adecuada retención agua-suelo junto con facilitar la infiltración; del mismo modo, en la tabla 3.1 se muestran algunas de sus características hidrofísicas, obtenidas en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Manabí.

TEXTURA	FRANCO ARCILLOSO
CAPACIDAD DE CAMPO (CAPACIDAD DE MACETA)	28 %
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	16%
HUMEDAD MAXIMA SATURADA	45%

Tabla 1: Característica hidrofóbicas

Estos valores obtenidos, dan una idea clara de cómo debería comportarse el sistema.

La humedad de este suelo no podrá superar nunca el 45%, valores más elevados provocarían encharcamiento en la zona superficial.

Dentro de la estructura del suelo, la presencia de micro poros y macro poros, permiten que pueda ocurrir el almacenamiento y/o movimiento del agua. Cuando el suelo está completamente seco, estos poros están llenos de aire; por otro lado, cuando el suelo está saturado de humedad los poros están completamente llenos de agua, el conocimiento de esta dinámica está relacionado con el manejo adecuado del riego.

La infiltración es el movimiento del agua en el suelo que ocurre después de un riego o precipitación, y dependiendo de la intensidad puede establecerse dentro de la zona radicular moviéndose por acción de las fuerzas capilares y manteniendo los niveles de humedad a capacidad de campo, en el caso extremo el agua puede llegar a zonas más profundas donde las raíces no pueden aprovecharlas y moverse por acción del vector gravitatorio, situación que equivale a decir que el agua drenaría fuera de la maceta.

Con esta última parte podemos deducir que la infiltración será mayor cuando la humedad es mayor a la capacidad de la maceta, a medida que la humedad aumente la infiltración de igual manera.

Por lo contrario, si la humedad desciende cerca o por debajo de la humedad a capacidad de campo obtendremos una infiltración que tiende a cero.

En el modelo caja blanca, utilizando el riego manual podemos ingresar a la simulación una cantidad cualquiera de agua en litros y automáticamente

obtenemos el valor correspondiente de la columna de agua en milímetros de altura, a su vez con un sistema de resta con memoria se ingresa la cantidad máxima de agua que puede adsorber la tierra por minuto (la cual viene expresada en altura respecto a un tiempo(velocidad)) conocida como conductividad hidráulica saturada o velocidad máxima de adsorción.

Realizado esto, procedemos a ver la respuesta de la caja blanca al ingresar 200 litros de agua con un tiempo de simulación de 10 días.

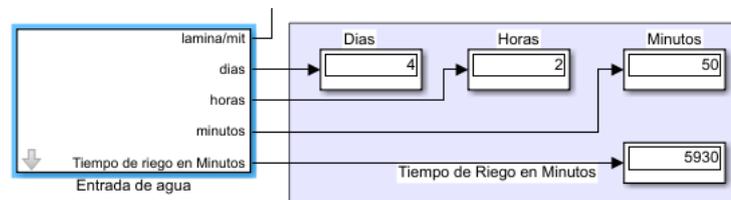


Figura 3.18: Tiempo de absorción de 200 litros de agua

Para adsorber 200 litros de agua en un área de 0.43 m², el sistema tardó 4 días con 2 horas y 50 minutos. Es decir, para absorber un litro el tiempo que tarda es de 30 minutos, tiempo promedio obtenido en los test de percolación en campo.

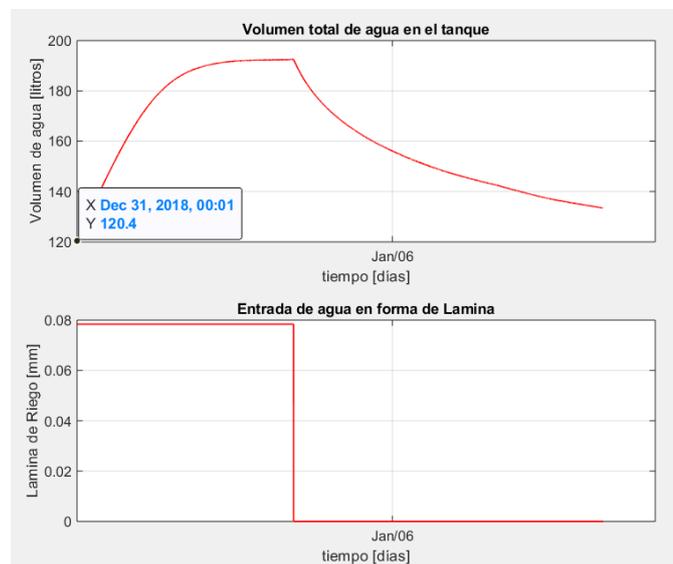


Figura 3.19: Respuesta del volumen de agua a una entrada escalón de 200 litros

En la gráfica anterior podemos observar que el volumen de agua inicial en la maceta es de 120.4 litros, que es el valor correspondiente a una humedad del 28% en un volumen de 0.43 metros cúbicos.

Si en un metro cubico entran 1000 litros de agua, en 0.43 metros cúbicos entrarían 430 litros, esto representa el 100% del volumen de la maceta. Por lo cual el 28 % (humedad volumétrica inicial) de 430 litros es 120.4 litros. Verificando la correcta conversión de humedad a litros del modelo la caja blanca

En la gráfica 3.20 se observa la respuesta de Humedad volumétrica, lamina de infiltración y lamina de riego respectivamente para un paso de 200 litros de agua.

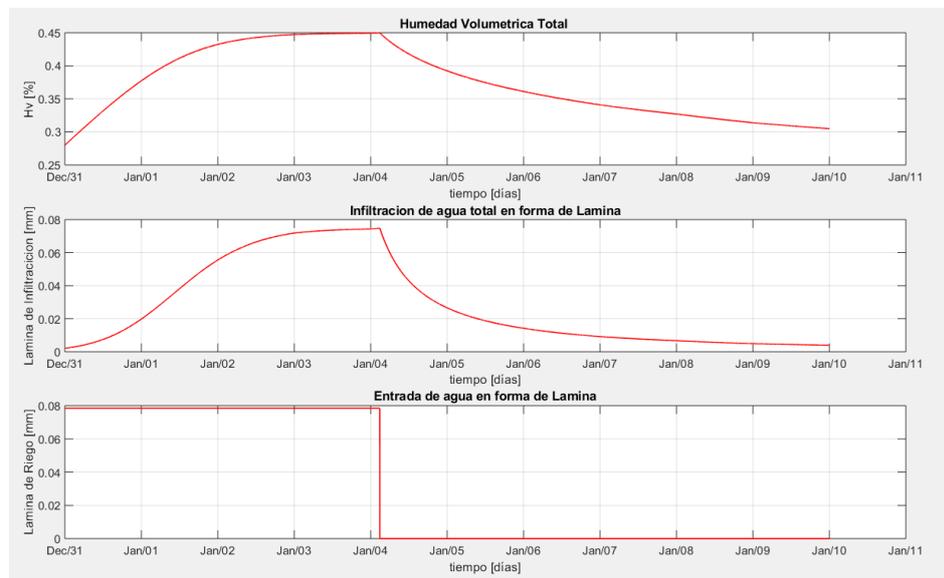


Figura 3.20: Respuesta de humedad e infiltración a una entrada escalón de 200 litros

A medida que va adsorbiendo agua el nivel de humedad va en aumento, podemos apreciar que al tercer día de riego constante la tierra está en su punto máximo de humedad, es decir humedad saturada en un 45 % aproximadamente.

La segunda grafica que representa la infiltración, muestra como a medida que la humedad va en ascenso la infiltración se incrementa con una pendiente constante, hasta casi llegar a la humedad de saturación, pero al detener el

riego, la humedad desciende gradualmente, al principio un poco más rápido ya que la pérdida por infiltración es alta, una vez que la humedad se va acercando al margen de capacidad de campo, la infiltración decae hasta aproximarse a cero, es decir se comporta de la forma esperada teóricamente.

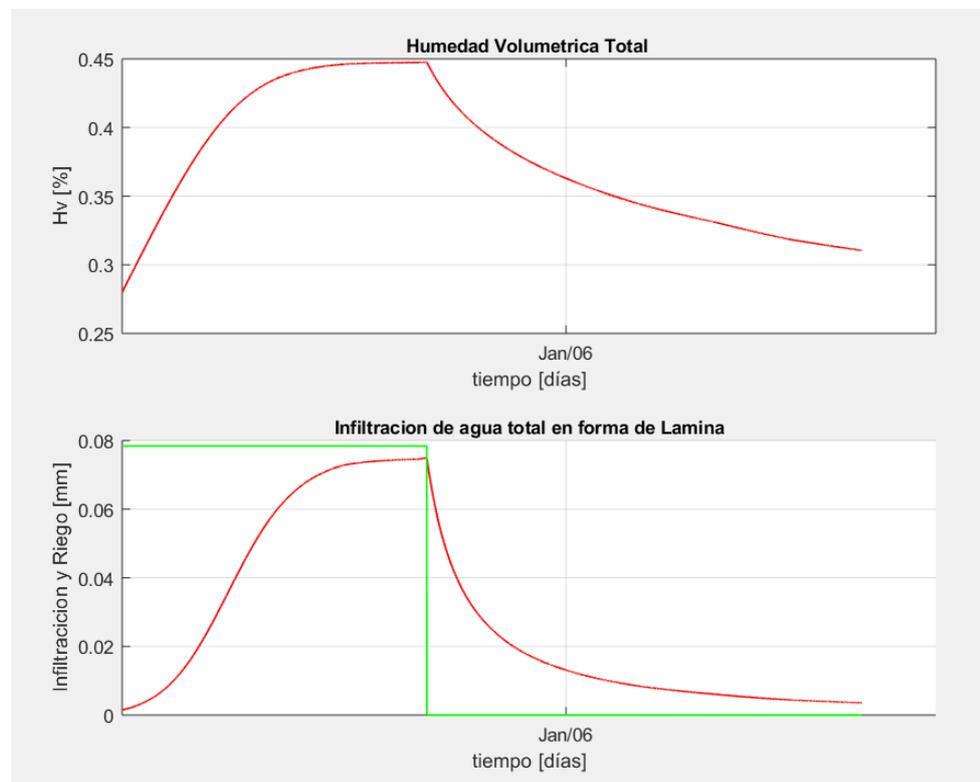


Figura 3.21: Comparación entre la entrada de agua e infiltración.

En la gráfica anterior se puede apreciar con mayor detenimiento en el primer cuadro la humedad volumétrica y en el segundo cuadro la infiltración (rojo) y el riego (verde). Cabe afirmar como una vez que la humedad llega a su nivel de saturación la cantidad de agua que se drena (infiltración) es muy cercana a la cantidad de agua que entra (riego) y esta pequeña diferencia equivale al consumo de agua de la planta y la evaporación del agua en la superficie de la tierra, a estos dos hechos se los define como uno solo, con el nombre de evapotranspiración, el cual son datos proporcionados por la estación meteorológica y coeficientes de crecimiento y follaje de la planta.

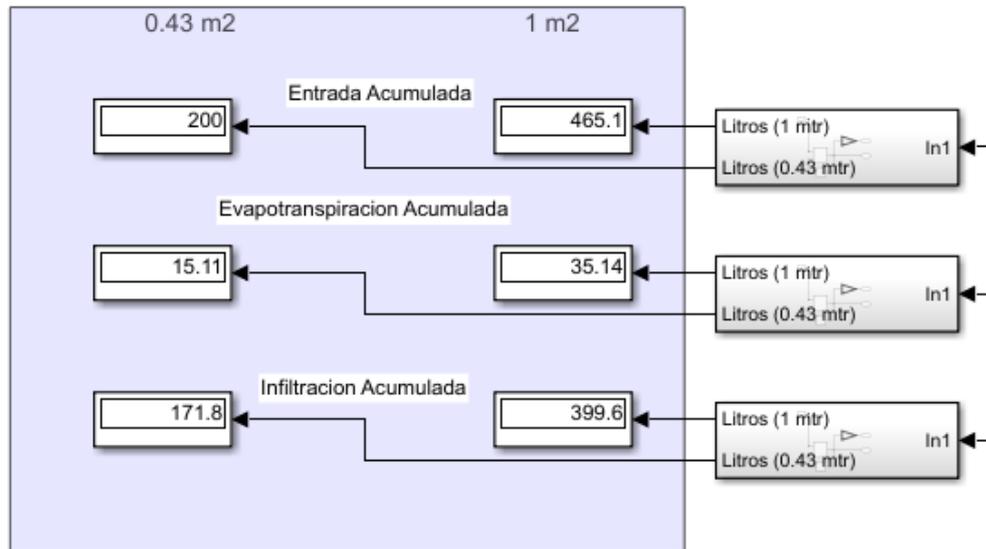


Figura 3.22: Contadores acumulativos de ingreso y salida de agua.

En los mismos parámetros de simulación anteriormente mencionados, observamos que en un área de 0.43 m² hubo una entrada acumulada de agua de 200 litros que es el valor total adsorbido por el suelo, una evapotranspiración acumulada de 15.11 litros y una pérdida por infiltración de 171.8 litros (recordemos que el valor es alto porque estamos sobre el punto de capacidad de campo) y recordando que el agua inicial almacenada es de 121.4 litros.

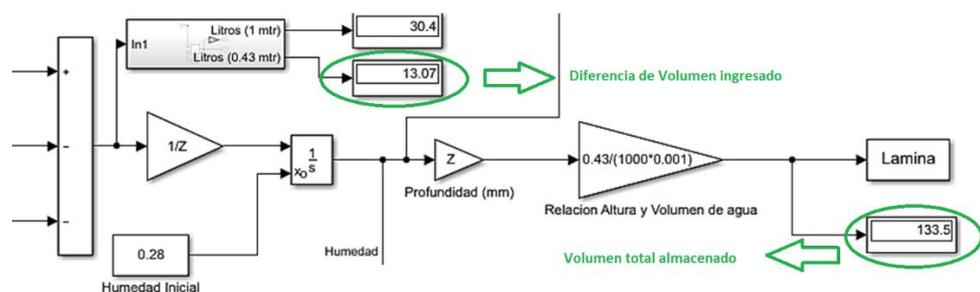


Figura 3.23: Determinación del volumen total de agua almacenado

El volumen de agua final de la maceta es de 133.5 litros de agua.

La ecuación general de balance nos indica que el agua que entra menos el agua que sale es igual al agua almacenada, por lo tanto:

Riego – evapotranspiración – infiltración =Volumen Final - volumen Inicial

$$200 - 15.11 - 171.8 = 133.5 - 121.4$$

$$13.09 \approx 12.01$$

Obteniendo valores muy cercanos con una diferencia de 1 litro de agua la cual es producida por la precisión matemática y las lecturas que no son continuas si no cada minuto. Esta diferencia equivale al 0.5% de desviación.

CAPITULO 4

4 Identificación del sistema de infiltración.

4.1 Elaboración del experimento

Para realizar la identificación de la función de transferencia y determinar la ecuación de balance hídrico e la zona radicular del cacao, utilizaremos las plantas de un estudio de 4 variedades de cacao, las cuales se encuentran plantadas en unos tanques los cuales hacen de maseteros y en condiciones controladas.

De las 4 variedades de cacao, que se encuentran plantadas, la CCN-51 es la más utilizada en la zona agrícola de Manabí. Por tal motivo será la especie escogida para realizar nuestro estudio.



Figura 4.1: Plantas del estudio a utilizar.

Ya una vez escogida la planta para hacer la identificación procedemos a determinar cuál será nuestra entrada y salida para poder diseñar el hardware y software que servirán para la recolección de datos. Para lo cual debemos estudiar el sistema, el cual se encuentra representado en la siguiente figura.

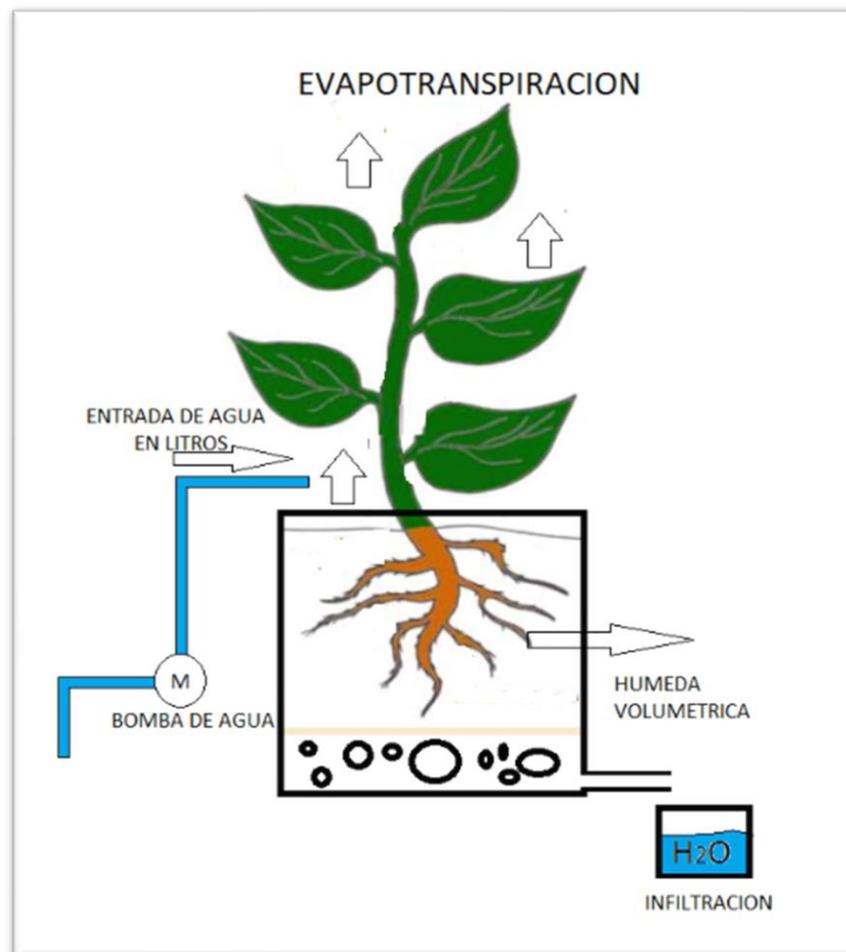


Figura 4.2: Representación del sistema.

Como nuestra ecuación de balance hídrico se basa en determinar la cantidad de agua que entra, que se pierde y la que queda en el sistema, con esto en mente y con el análisis del sistema vemos, que nuestra entrada es la cantidad de agua en litros suministrada en el riego y nuestra salida la humedad volumétrica contenida en el suelo

Con estos análisis podemos asumir el estudio del sistema como SISO, el cual es representado en la siguiente gráfica.

Ya teniendo el hardware procedemos a la implementación de sensores. Para lo cual utilizaremos sensores de humedad capacitivos Fdr-Robotic (ver ANEXO 3), para poder utilizar este sensor tenemos que encontrar la ecuación que nos permitirá llevar la señal en milivoltios entregada por el sensor, a humedad volumétrica. Para lo cual se utilizó la regresión lineal sobre los datos obtenidos en un experimento de comparación entre los milivoltios de nuestro sensor y la humedad volumétrica obtenida con los sensores de humedad DECAGON.

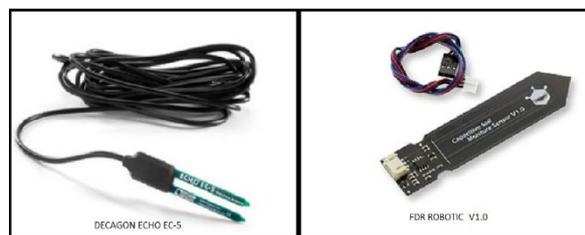


Figura 4.5: Sensores de humedad volumétrica.

Este experimento se realizó de la siguiente manera, se tomaron 10 muestras del mismo suelo utilizado en los maseteros de plantas de cacao. Ya con las muestras lista se procedió a saturar de agua.

Una vez saturadas las muestras se las pusieron en un horno y se fueron sacando una muestra cada hora y midiendo la humedad que quedaba con el sensor DECAGON y los valores en milivoltios con el sensor Fdr-Robotic, en cada muestra.



Figura 4.6: Muestras de suelo para la obtención de ecuación de sensores capacitivos.

Obteniendo de esta forma la tabla 4.1

Decagon en humedad volumétrica m ³ /m ³	Medida FDR ROBOTIC en milivoltios
0,57	1,251221896
0,52	1,270772239
0,484	1,285434995
0,47	1,295210166
0,42	1,309872923
0,4	1,348973607
0,18	1,744868035
0,15	1,955034213
0,05	2,204301075
-0,083	2,668621701

Tabla 2: Datos de milivoltios correspondiente a la humedad del suelo

generando una curva en milivoltios vs humedad volumétrica representada a continuación

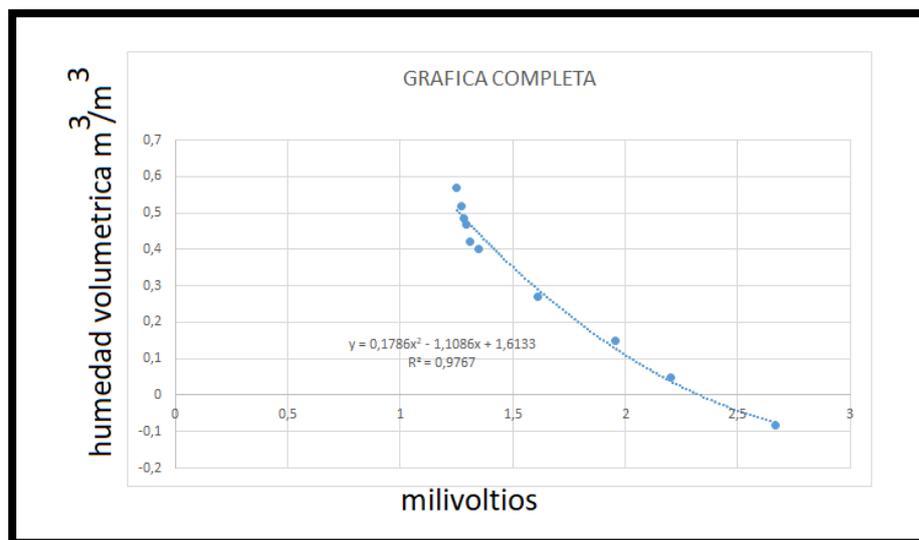


Figura 4.7: curva de humedad del suelo vs medición del sensor en milivoltios del sensor Fdr-Robotic

Ya obtenida la curva, determinamos que para obtener un mejor resultado de sensado debemos separar los datos en dos grupos para obtener dos curvas las

cuales al aplicar la regresión lineal las ecuaciones resultantes tendrán un mejor ajuste.

	Decagon en humedad volumétrica m ³ /m ³	Medida FDR ROBOTIC en milivoltios
Primera ecuación	0,57	1,251221896
	0,52	1,270772239
	0,484	1,285434995
	0,47	1,295210166
	0,42	1,309872923
Segunda ecuación	0,4	1,348973607
	0,18	1,744868035
	0,15	1,955034213
	0,05	2,204301075
	-0,083	2,668621701

Tabla 3: Agrupación de los datos de humedad vs milivoltios para la regresión lineal

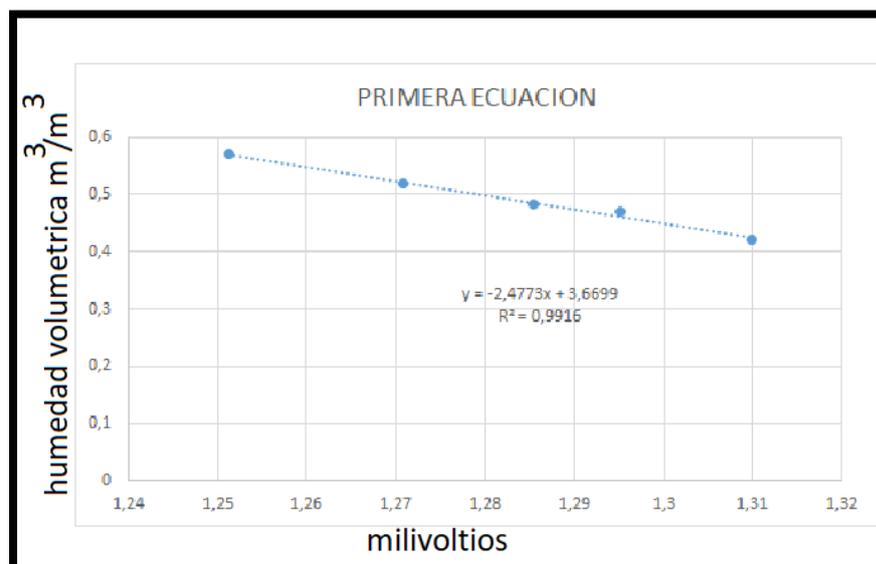


Figura 4.8: Grafica de la primera ecuación

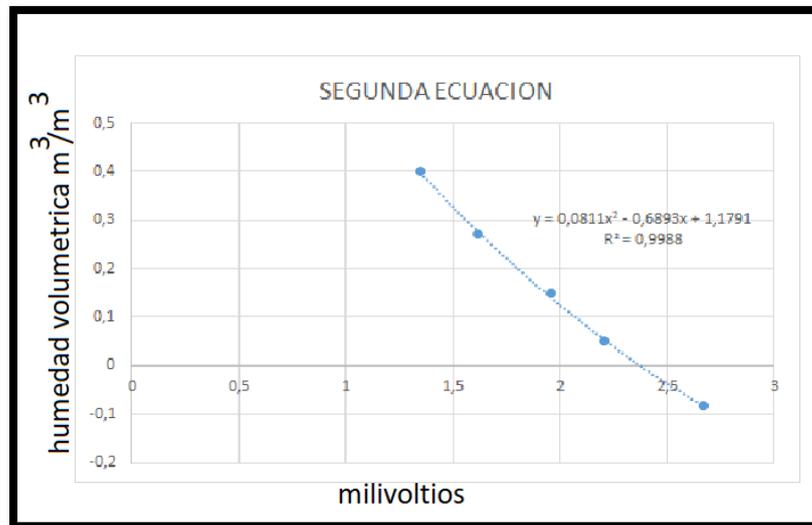


Figura 4.9: Grafica de la segunda ecuación

Ya obtenida las ecuaciones se procedió a desarrollar el programa para el arduino (ver ANEXO 7), en el cual se implementarán las ecuaciones y de esta manera obtener a medición de la humedad.

Este programa también realizara el control de las electroválvulas que se activaran cuando la humedad baje hasta el valor mínimo requerido y se desactivara cuando llegue al valor máximo requerido.

Los valores de humedad ya están definidos por el tipo de tratamiento que se está efectuando y no se pude cambiar ya que es un experimento en curso para determinar el comportamiento de las diferentes variedades de cacao utilizadas en la zona, aplicándole diferentes tratamientos de humedad.

También se tomará el tiempo que durará la activación de la electroválvula para así saber la duración del paso de agua que ingresa al sistema.

Una vez el arduino obtenga los datos de humedad y el tiempo que está activando el riego el enviara estos datos por comunicación serial, para ser procesados y guardados

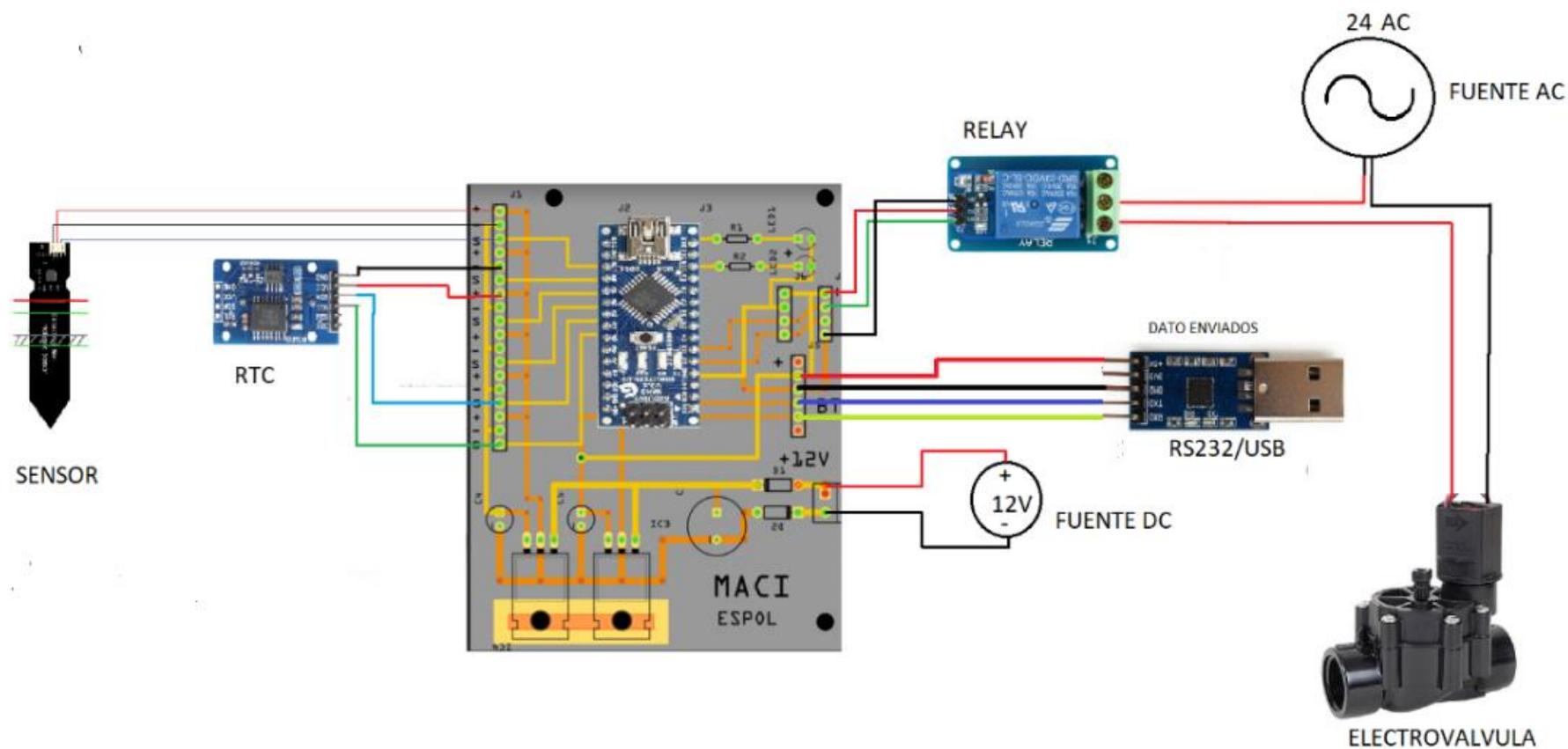


Figura 4.10: Detalle de conexión del circuito electrónico para la censado y control de riego

En la Raspberry pi se realizará un programa en NODE-RED (ver ANEXO 8) con el cual se desarrollará una HMI, este se ejecuta sobre un explorador web. Con la ventaja de tener una dirección IP, que nos da acceso desde nuestro explorador con solo conectándonos a la red.

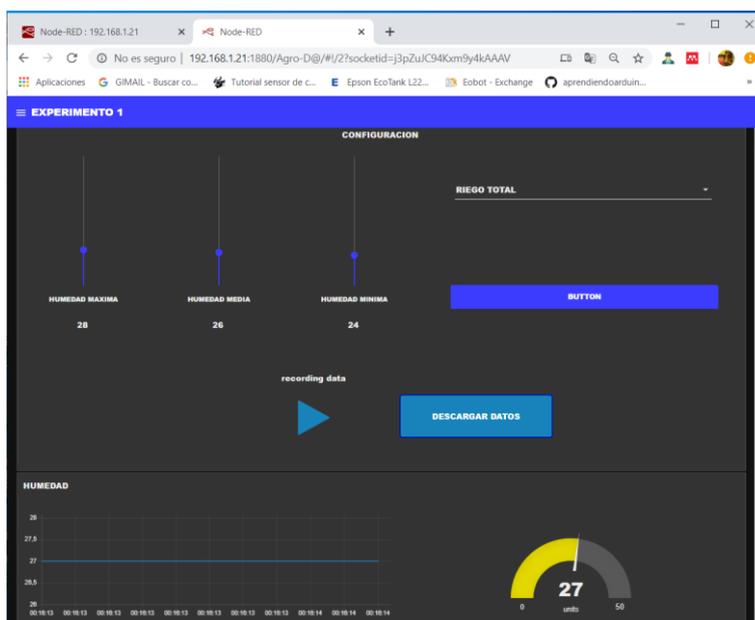


Figura 4.11: HMI del sistema de adquisición de datos

Uno de las ventajas más importantes de utilizar NODE-RED para realizar la HMI, es su programación gráfica, ya que esto nos permite implementar rápidamente el software.

Además, con la opción de poder escribir código estructurado en JavaScript y HTML dentro del bloque nos permite ser más flexibles.

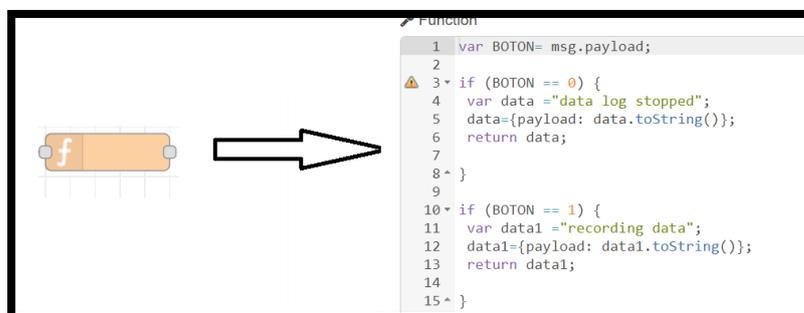


Figura 4.12: Implementación de JavaScript en NODE-RED



Figura 4.13: Implementación de HTML en NODE-RED

Esto permite implementar una forma de almacenar los datos en un servidor apache y a su vez la descargar de los mismos, en un formato de archivo .TXT desde el navegador web.

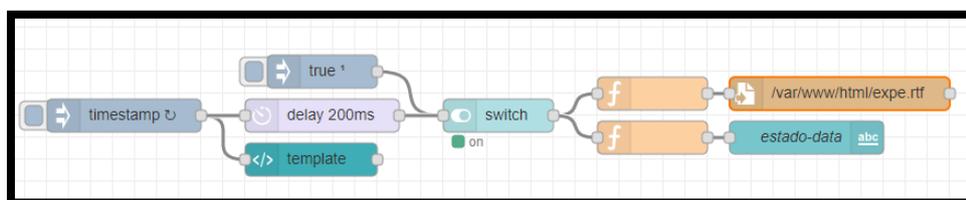


Figura 4.14: Implementación en NODE-RED para el almacenamiento y descarga de datos desde el navegador web

Esto nos da la ventaja de tener un sistema el cual puede ser puesto en marcha en la industria IOT. Ya que con implementar el acceso a internet podemos acceder a los datos desde cualquier lugar del mundo, sea por VPN o con una IP fija, también nos da la ventaja de que podemos acceder a los datos sin necesidad de una intervención física del hardware, como lo que se hace en ciertos dispositivos implementados previamente en experimento, la cual la extracción de datos se da mediante el retiro de una tarjeta micro-SD o conectándonos por cable al equipo.

Generando incluso que el equipo falle y deje de guardar datos por manipulación directa sobre el equipo, mientras que en nuestro sistema tiene niveles de acceso, dándole al operador nivel de usuario que solo le permite manipula la visualización, descarga de los datos y parámetros de operación, todo esto mediante conexión a la red.

Lo cual lo vuelve mucho más confiable para la adquisición de datos.

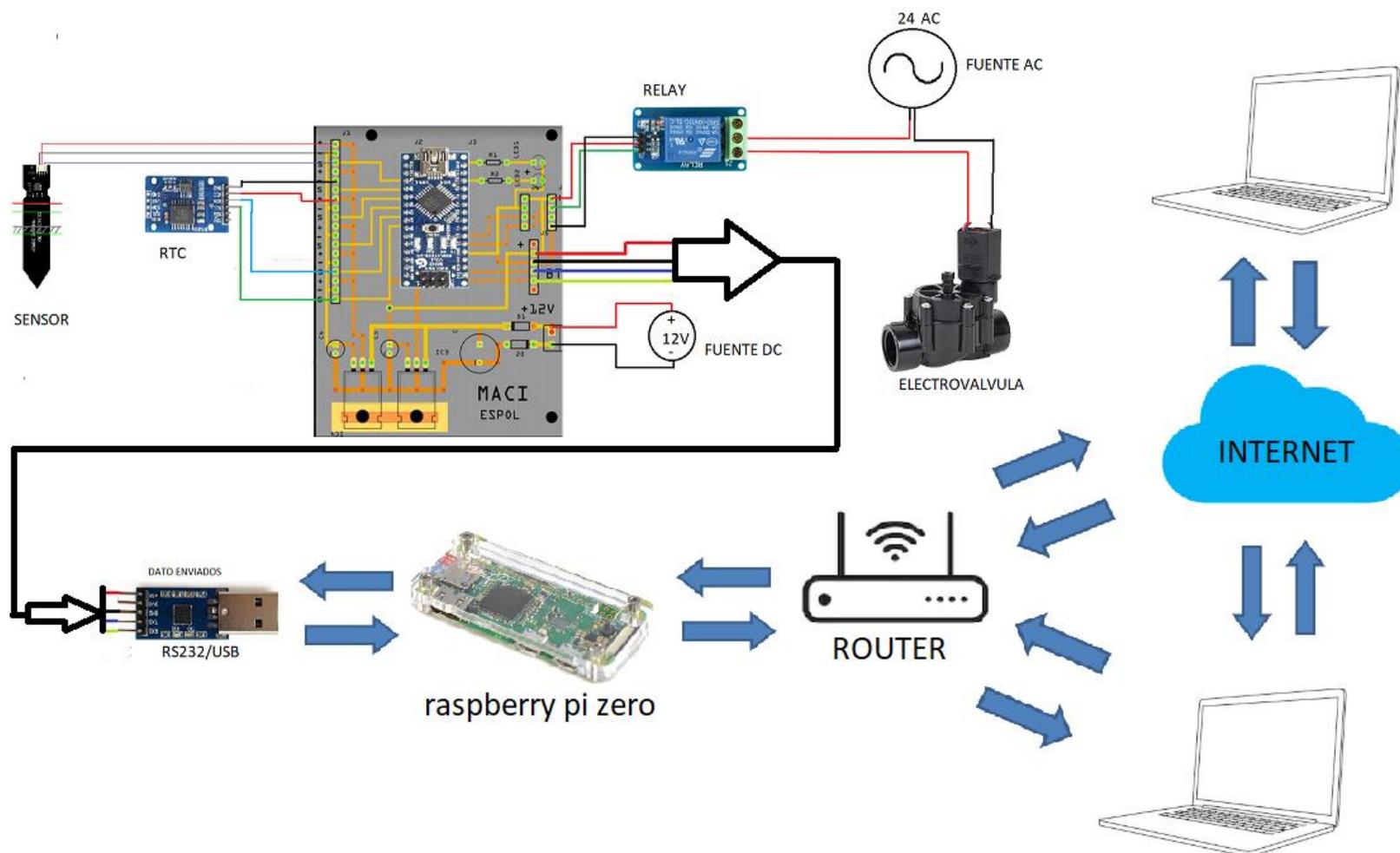


Figura 4.15: Esquema de la descripción del sistema de adquisición de datos y control de riego

4.3 Pre-procesamiento de datos

El guardado de los datos de entrada y salida se los realiza en frecuencia distinta. Donde la lectura de humedad se guarda cada hora, ya que esto reduce ruido y al ser un proceso lento, no tenemos cambios bruscos que nos puedan afectar la dinámica de los datos.

Mientras que la entrada de agua, al tener siempre el mismo flujo nos basta con conocer el tiempo de encendido de la válvula para saber cuánta agua entro al sistema, convirtiendo esta entrada en una señal digital, uno cuando está activa la electroválvula y cero cuando esta desactiva, Esto nos obliga a que la captura de datos de la entrada sea cada minuto para mayor precisión. Esto nos da como resultado una señal de entrada que, al multiplicarla por el flujo constante de agua, obtenemos nuestro paso. Sin poner ningún sensor de flujo el cual al medir siempre nos generara ruido por ser una señal analógica.

Esto es posible debido a que el sistema de riego usa goteros autocompensantes los cuales siempre mantienes el flujo constante dentro de un rango de presión.

Para poder llevar la lectura de humedad a hora lo que hacemos en importar al espacio de trabajo de Matlab los datos de humedad como matriz numérica.

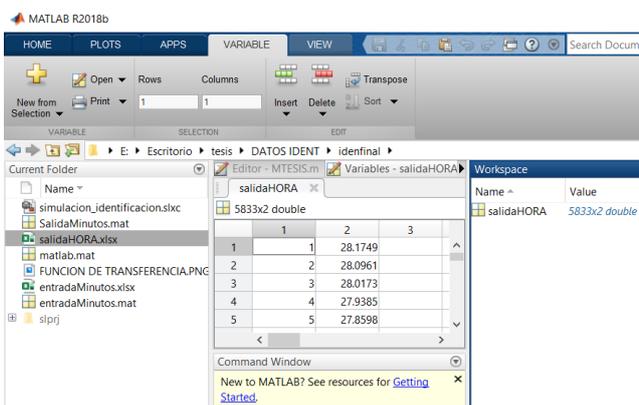


Figura 4.16: Importación de la base de datos a Matlab

Ya con los datos en workspace y con ayuda de Simulink procedemos a llévalo a la escala de tiempo en minutos. Para ello necesitamos los siguientes bloques que son, FROM-WORKSPACE y un SCOPE.

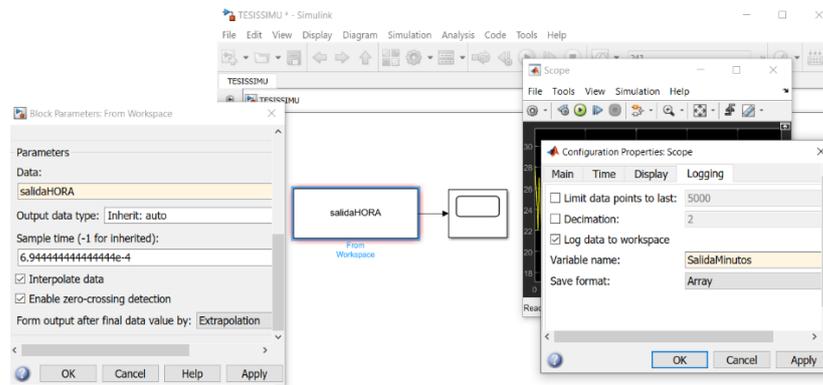


Figura 4.17: Cambio a escala de tiempo

Este bloque FROM-WORKSPACE me permite importar del workspace al simulink y al modificar su tiempo de muestreo, podemos modificar la escala de tiempo sin alterar su magnitud y el SCOPE permite enviar esos datos con una nueva escala de tiempo al workspace, para su procesamiento. Obteniendo una matriz numérica de datos con la escala de tiempo en minutos.

Ahora si nos dirigimos al workspace en Matlab, veremos nuestra matriz de datos SalidaMinutos la cual nos servirá para la identificación. Ya que estos son los datos de salida del sistema

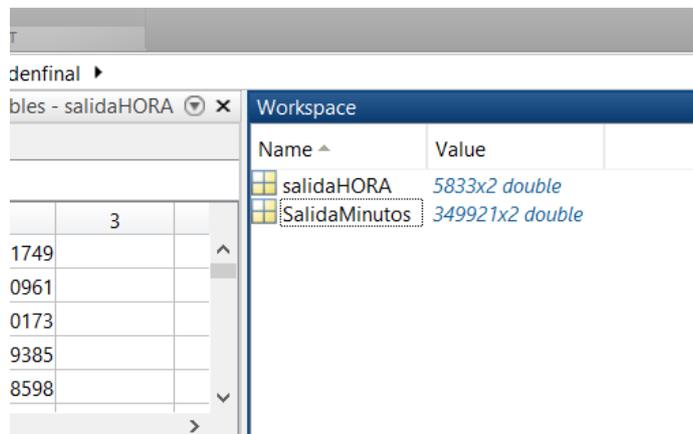


Figura 4.18: Obtención de los datos de salida en minutos

Una vez obtenido los datos en la escala de tiempo requerida, procedemos a determinar punto de operación, para tener solo la respuesta sin offset.

Si nuestros datos contienen su punto de operación, la identificación de IDENT tomara en cuenta este valor de offset para su estimación de modelo de caja negra.

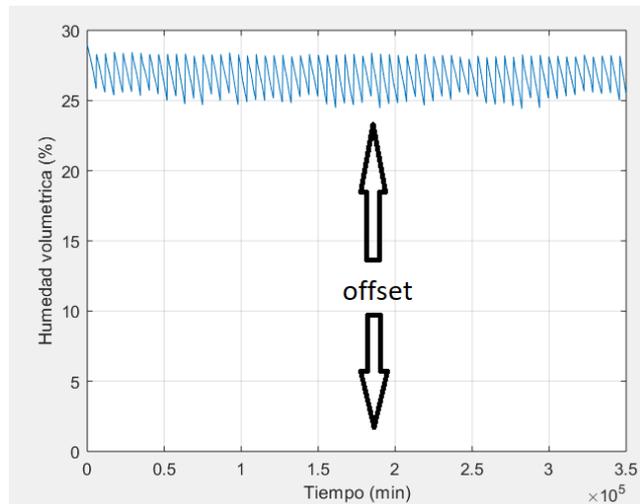


Figura 4.19: grafica de datos de la salida de humedad en los rangos establecidos

Dándonos como resultado un modelo que primero tiene que estabilizarse en un punto de operación.

Mientras que, si le quitamos este punto de operación, el modelo identificado rápidamente actúa dentro de los rangos de variación.

Y con solo suma a la salida la respuesta de su punto de operación, la respuesta estará dentro de la zona requerida.

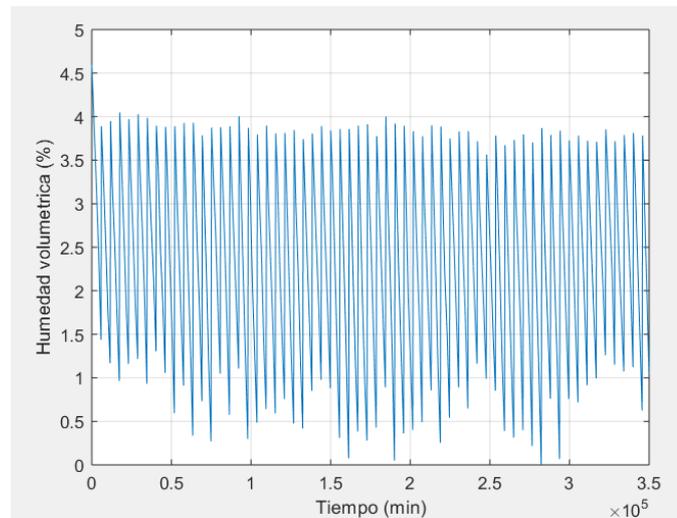


Figura 4.20: grafica de datos de la salida de humedad sin punto de operación

4.4 Generación del modelo

Estando en **IDENT** procedemos a importar los datos con la opción **import data** y escogiendo **data format signals**, la cual nos abrirá otra pantalla de este mismo nombre donde colocaremos los datos a importar.

Una vez escogido los datos de importación, configuramos el **sampling interval**, este dato es sacado del vector de tiempo del conjunto de datos, calculando cada cuanto se efectúa la variación de datos, el cual tiene que ser constante.

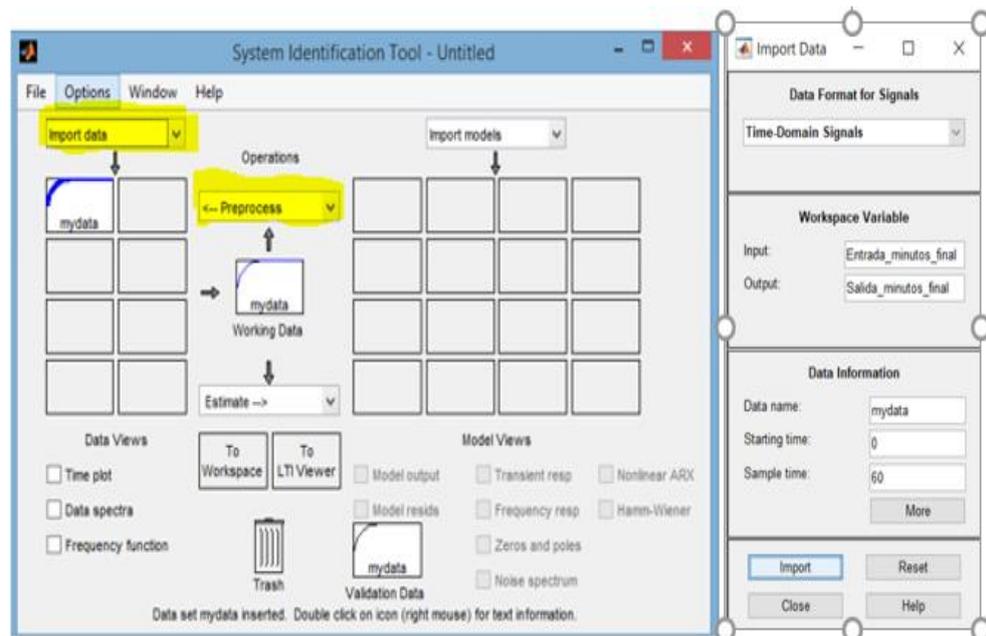


Figura 4.21: Grafica del panel principal de IDENT con el de importación de datos

Importado los datos, procedemos a escoger dos conjuntos de datos de la data importada, el cual debe ser por lo menos un periodo completo, para esto hacemos clic en **preprocess** y luego escogemos **select range**.

Después nos aparecerá otra pantalla, donde escogeremos los grupos de datos para la identificación.

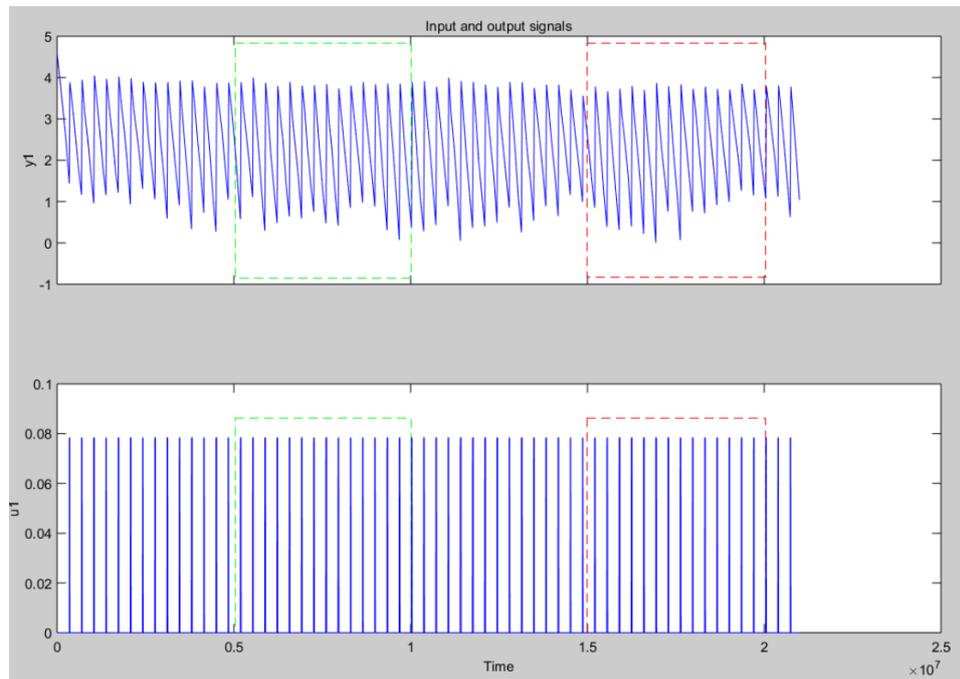


Figura 4.22: Grafica de selección de grupos de datos para la identificación

Obtenido los grupos de datos aparecerá en la pantalla de inicio del IDENT, los dos grupos de datos (**mydatae** y **mydatav**), hacemos clic sobre cualquiera de los dos y lo arrastramos a **Working Data** y con el otro conjunto de datos lo arrastramos a **Validation Data**

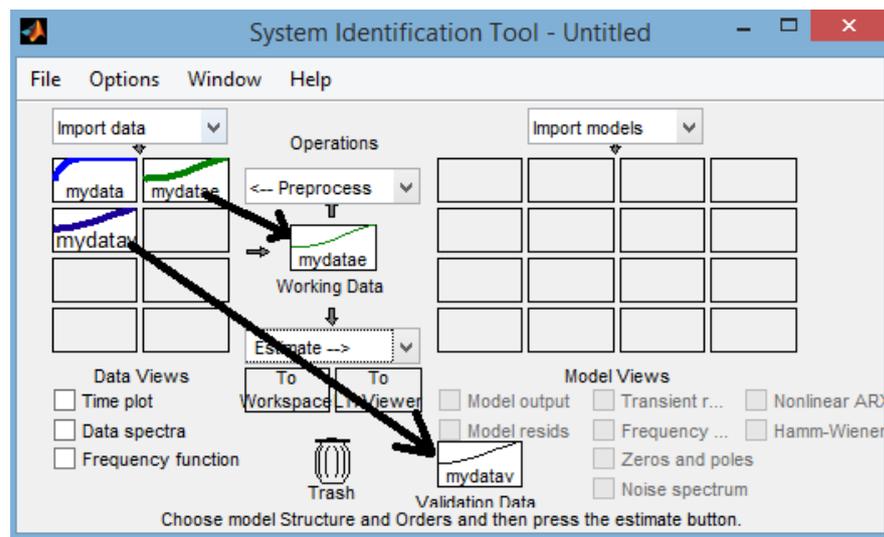


Figura 4.23: Pantalla principal con los grupos de datos para la identificación

Después hacemos clic en la pestaña **estimate** y escogemos **process models**, abriendo una pantalla, mostrada a continuación.

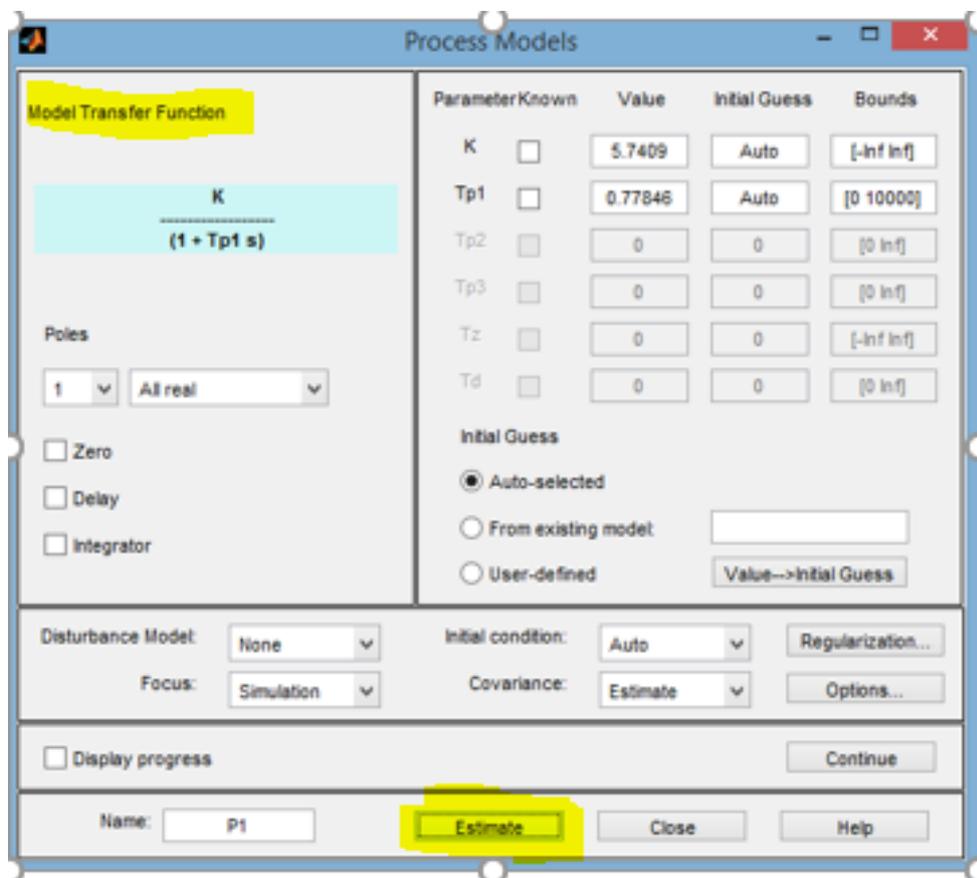


Figura 4.24: Pantalla para la estimación de modelos matemáticos

Ya en esta pantalla, en la parte de **model transfer función** escogeremos los diferentes tipos de modelos, que puede tener nuestra planta. Cada vez que escogemos un nuevo modelo Hacemos clic en **Estimate**.

Ya obtenido los diferentes modelos, procedemos a hacer clic en la checkbox **Model Output** de la página principal del **IDENT**.

Esto nos dará otra pantalla, con los diferentes modelos para nuestra planta con sus porcentajes **de best fits** (lo que mejor se ajusta).

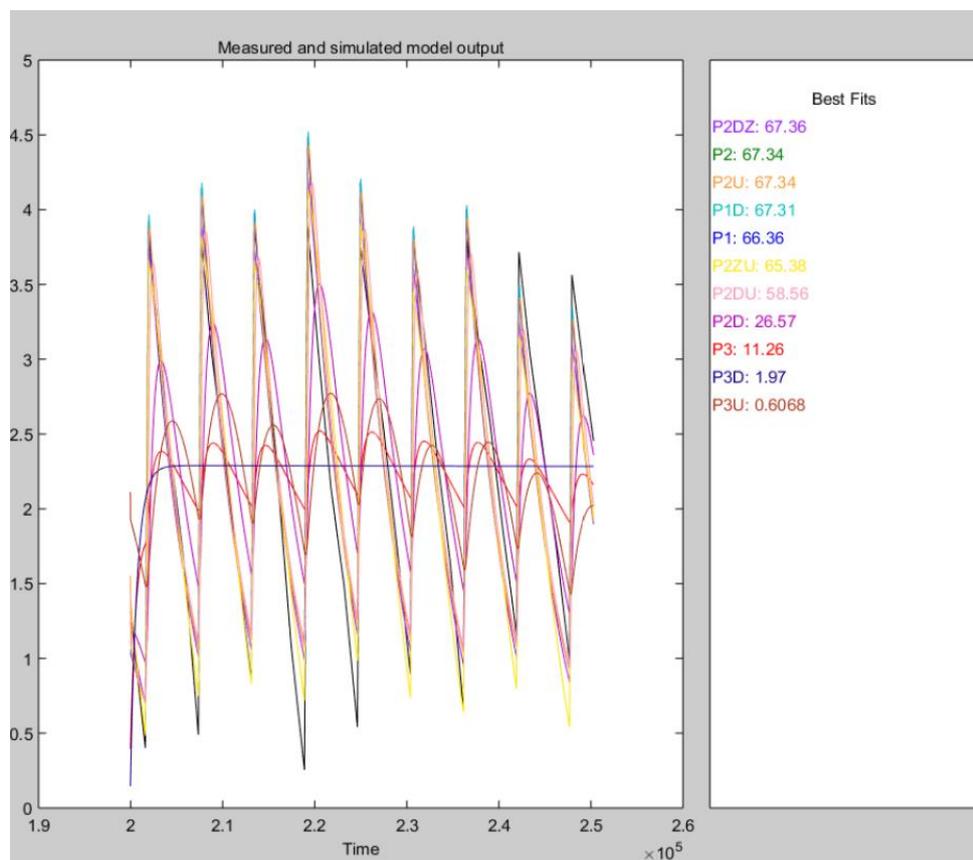


Figura 4.25: Diferentes modelos estimados con su porcentaje de ajuste

En este caso se realizaron 11 estimaciones y la que mejores porcentajes de estimación tienen son los modelo P2, P2U. Que son modelos de segundo orden con retardo y underdampend (bajo amortiguamiento).

Y por último exportamos estos modelos al Workspace de Matlab, arrastrando hacia **To Workspace** cada uno de los modelos estimados.

Ya una vez obtenida las ecuaciones de transferencia de las diferentes estimaciones, vemos que la función de primer orden tiene un buen porcentaje de ajuste y con lo fácil que es implementarla se escoge a esta función como caja negra del sistema.

$$FT = \frac{6171}{8.845e^4S+1} \quad (4.1)$$

4.5 Validación de modelo

Para la validación del modelo identificado se realizó una implementación de la ecuación de transferencia en simulink.

Para ello se implementó un flujo de bloques, donde podemos escoger la simulación sea con una entrada paso para conocer su respuesta o con los datos de entrada del sistema real, con la comparación de datos de las salidas en planta identificada y la planta real.

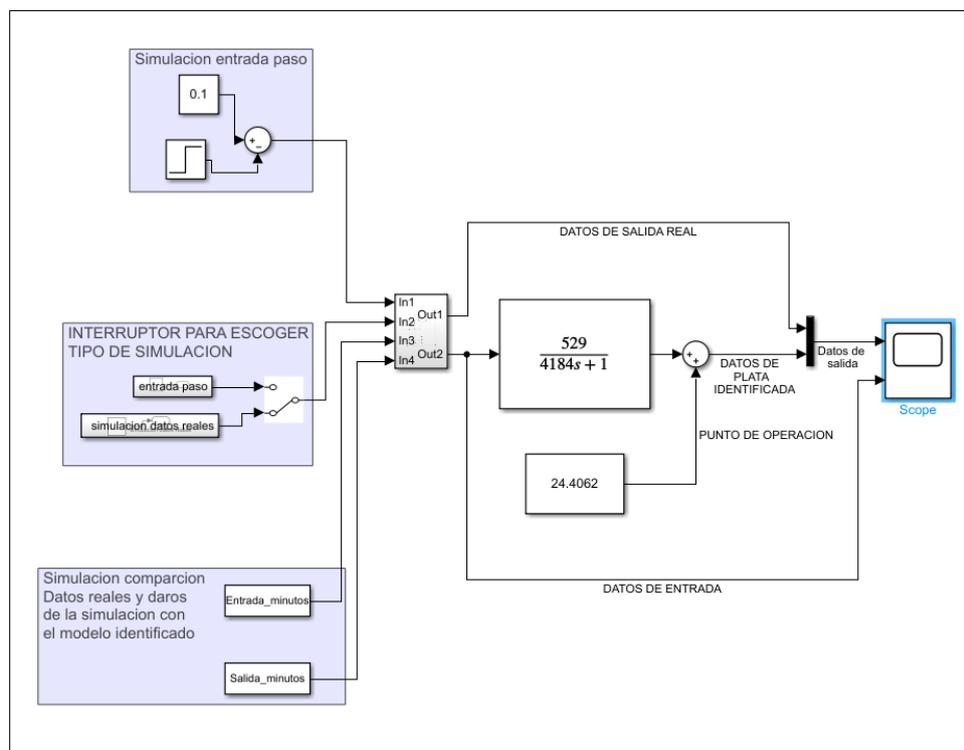


Figura 4.26: Implementación en simulink de la planta identificada

Ya implementado el sistema se procede a la simulación, en el cual obtenemos siguientes resultados mostrados en la figura 4.27.

donde se muestra el comportamiento del sistema identificado en respuesta a los datos de entrada que fueron obtenidos del sistema real. Los datos de entradas están en litros, mientras que los datos de salida están en porcentaje de humedad volumétrica, en el sistema.

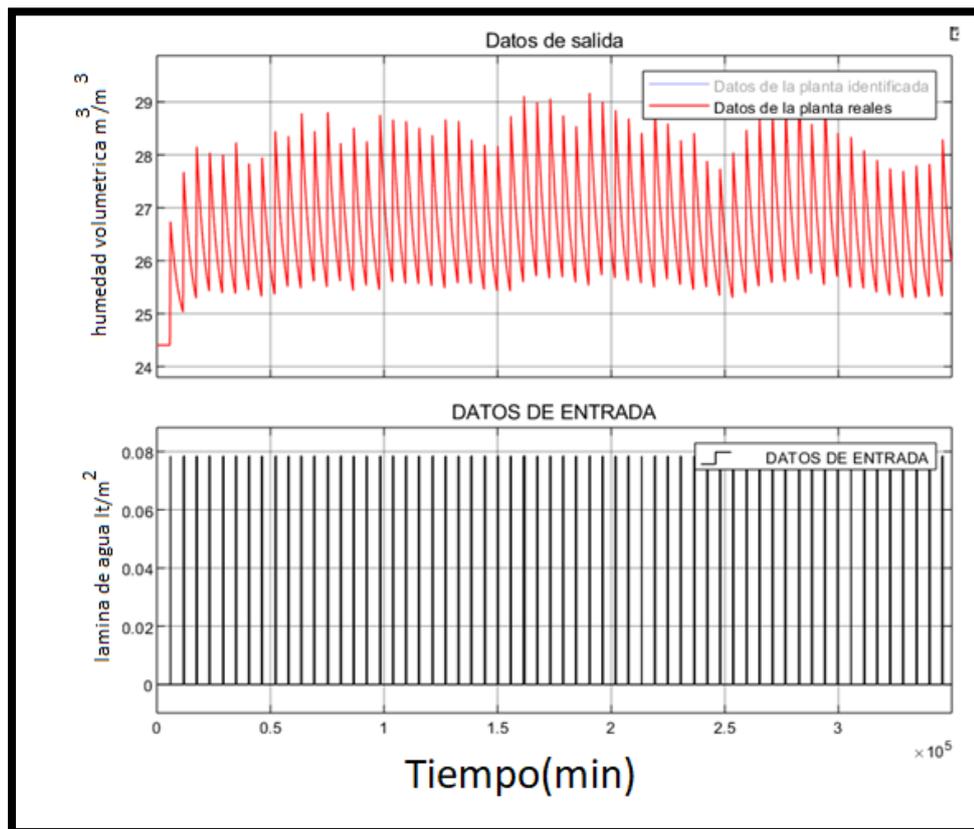


Figura 4.27: Simulación de la planta identificada con los datos de entrada del proceso real

Ya obtenida la respuesta del modelo identificado, la comparamos con la salida de los datos reales.

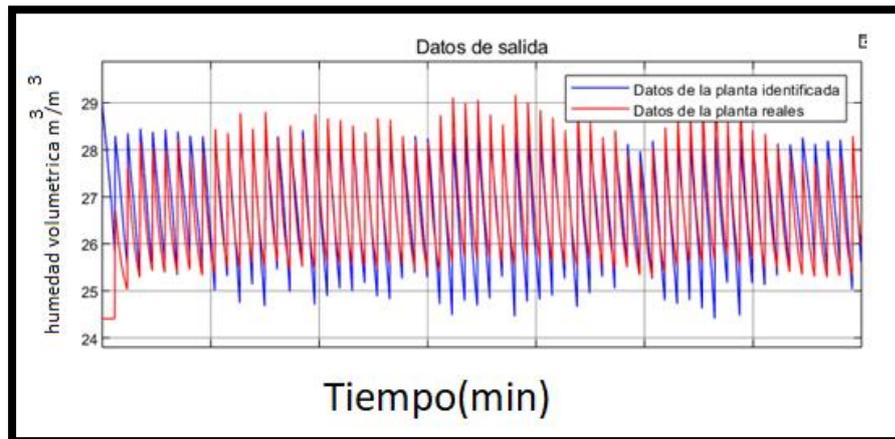


Figura 4.28: Comparación de respuesta simuladas y del proceso real

como observamos en esta grafica los resultados de la simulación de los datos de la planta identificada, los cuales se representan con el color azul, se ajustan bastante bien al comportamiento de la planta real representada en color rojo.

CAPITULO 5

5 VALIDACION DE MODELOS

Finalmente, después de tener realizado el modelamiento de caja blanca y a su vez el modelamiento de caja negra, se simulan ingresándole datos reales obtenidos en un periodo de 8 meses.

A los dos modelos diseñados se lo coloca la misma señal de entrada que el proceso real, con la diferencia que la cantidad de agua es pre procesada para simular un riego sin encharcamiento.

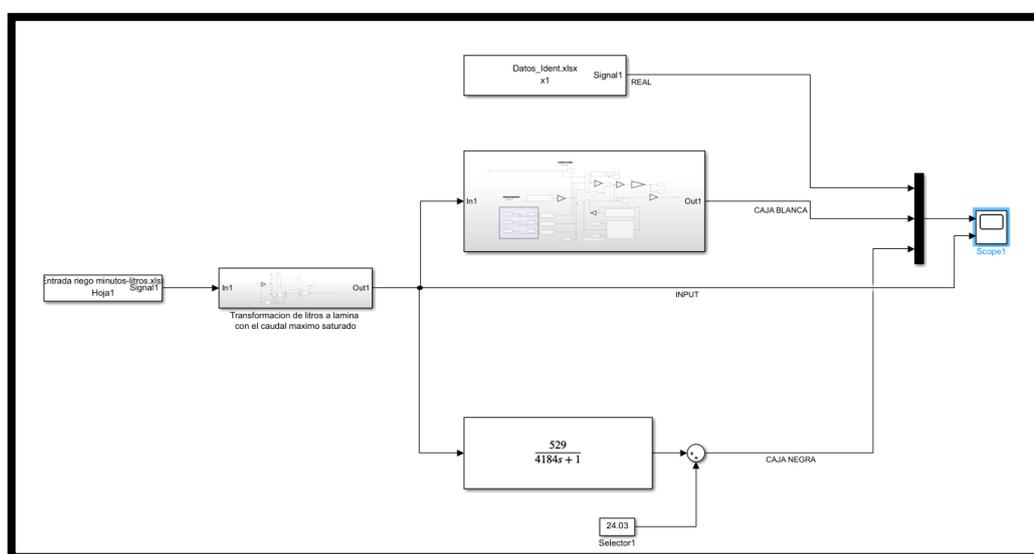


Figura 5.1: Diagrama en simulink para la comparación de los modelos matemáticos y los datos reales

Diagrama en simulink para la comparación de los modelos matemáticos y los datos reales

El modelo caja negra recibe una señal de excitación inicial diferente para llevarlo al punto de operación al cual fue identificado.

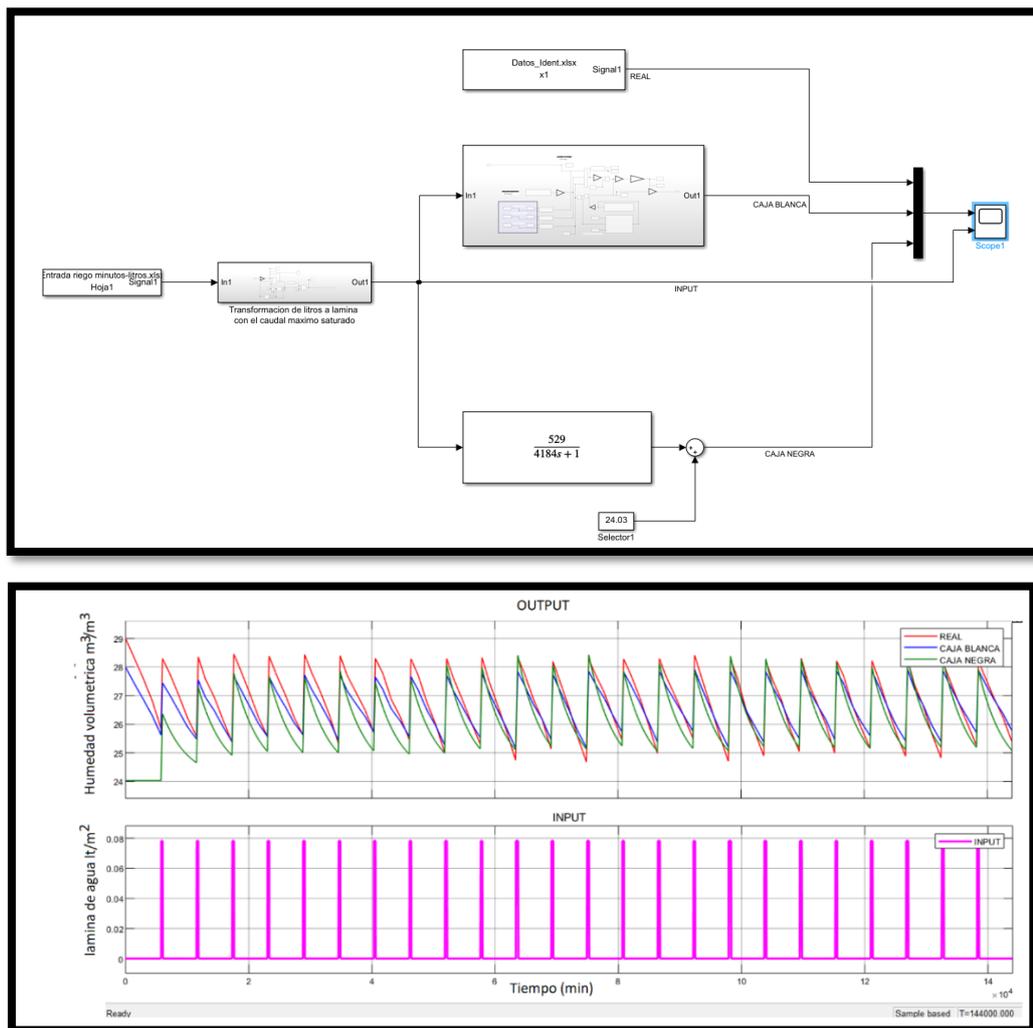


Figura 5.2: Respuesta de los modelos durante una Simulación de 100 días

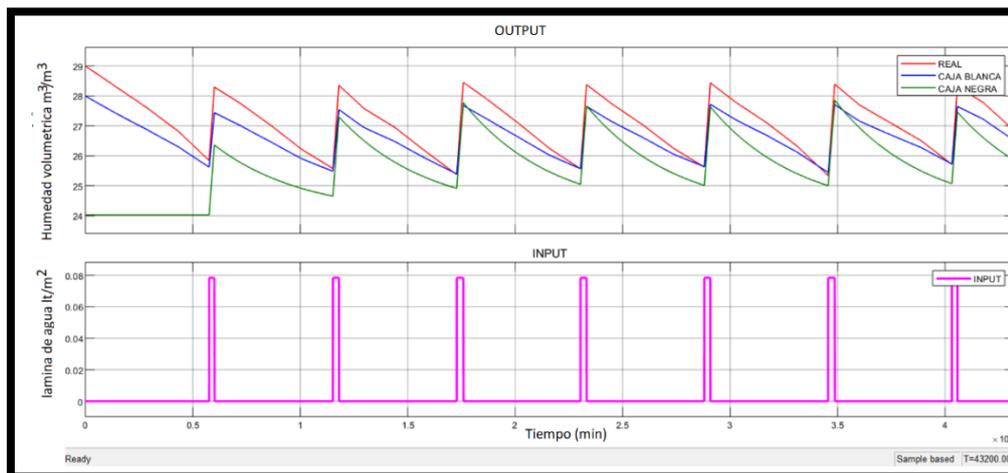


Figura 5.3: Respuestas de los modelos durante una Simulación de 30 días

Se simularon tanto la caja blanca y la caja negra con la misma señal de entrada del proceso real y se montaron las salidas respectivamente. La roja corresponde al proceso real, la azul a la caja blanca, y la verde a la caja negra.

Se puede apreciar que la caja blanca tiene un alto grado de coincidencia que el proceso real sin embargo mantiene un error en la magnitud de humedad, pero al igual que la caja negra mantiene el mismo comportamiento que la señal real.

No obtenemos desfase ya que el riego se comienza hacer exactamente en el mismo momento y al finalizar la humedad descende en el transcurso del día, de igual forma no se aprecia desfase en la respuesta de humedad por la separación de la toma de datos ya que es considerado un sistema lento y se desprecia el retardo inicial.

5.1 Cálculo de PI de los modelos matemáticos.

Para calcular el PI se procedió a utilizar la herramienta auto TUNE del bloque PID de simulink, el cual automáticamente linealiza la planta y proporciona una respuesta a un escalón en la cual se pueden probar diferentes parámetros analizando su velocidad de reacción y robustez para seleccionar los parámetros más convenientes.

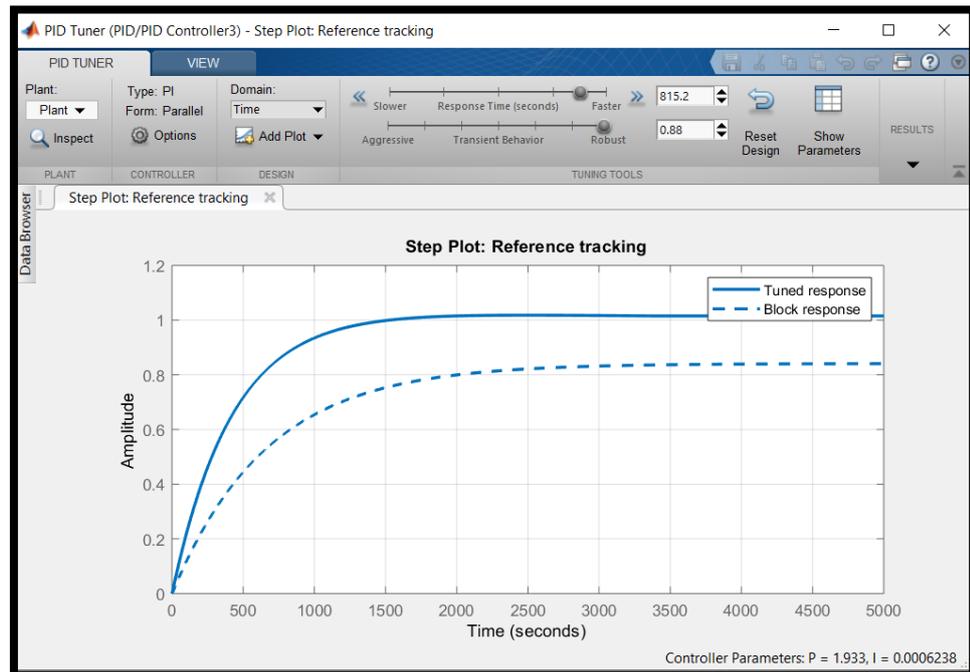


Figura 5.4: Herramienta PID Tuner de Simulink

Se evita tener Overload por que al no poder ingresar parámetros negativos (quitar agua) realmente no se puede controlar el descenso de agua

El proceso para el cálculo de los parámetros del controlador tipo PI se realizó tanto en el modelo caja negra como en el modelo caja blanca, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

$$P + I * T_S \left[\frac{1}{Z-1} \right] \quad (4.1)$$

PI MODELO CAJA NEGRA (PI_A):

$$P = 1.76668747780521$$

$$I = 0.000487610095021063$$

PI MODELO CAJA BLANCA (PI_B):

$$P = 21.0219863967182$$

$$I = 0.00125872358202702$$

5.2 Análisis del comportamiento de los controladores según su tipo de actuador

Una vez calculados los controladores se procedió a realizar la implementación, analizando su respuesta antes diferentes tipos de actuadores.

Se comparó un controlador conectado directamente a la planta, es decir su actuador corresponderá a una servoválvula, mientras que en el otro caso se simulará una electroválvula.

Para implementar en la simulación una electroválvula (ON/OFF) es necesario utilizar un generador de pulsos PWM, y un selector, ya que siempre se enviaría la misma cantidad de flujo, lo que variaría es el tiempo accionamiento.

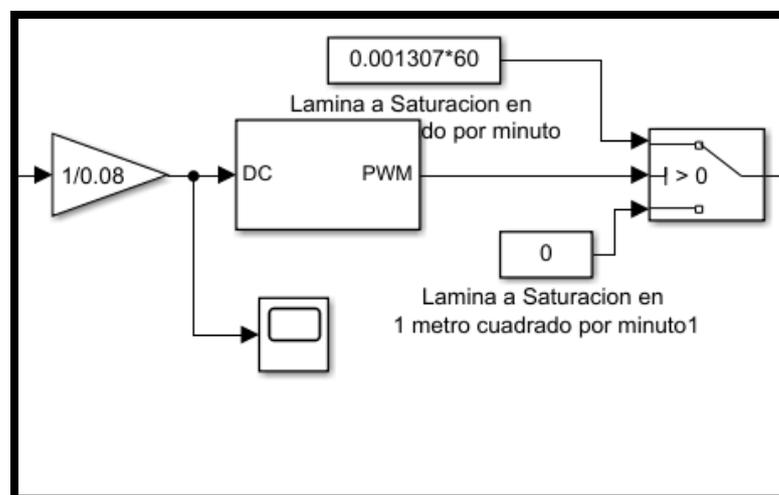


Figura 5.5: Representación de una válvula de accionamiento ON/OFF

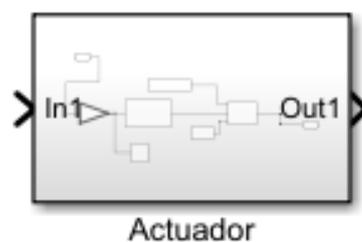


Figura 5.6: Bloque de actuador – Electroválvula

Para un servo válvula su respuesta es analógica, es decir modifica la cantidad de flujo que ingresa al sistema para realizar el control.

En la gráfica a continuación se muestra como el nivel de flujo desciende progresivamente una vez se llega a la humedad saeteada, y para mantenerla siempre se tiene un flujo mínimo constante, es decir la válvula no está completamente cerrada.

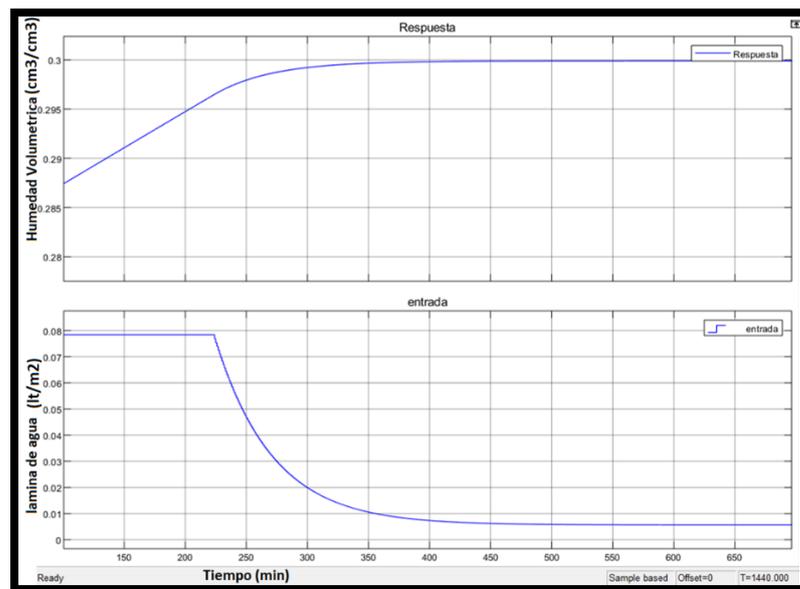


Figura 5.7: Control de agua con una servoválvula

Utilizando una electroválvula, como es un sistema de dos estados, apertura completa y cierre completo, siempre envía un flujo constante de agua, pero el control lo realiza modificando el tiempo de actividad de la válvula.

Como se aprecia en la figura, cuando la humedad está por llegar al valor sesteado, el tiempo que se mantiene abierta la válvula disminuye, manteniendo pequeños lapsos de tiempo activado para mantener estable la salida.

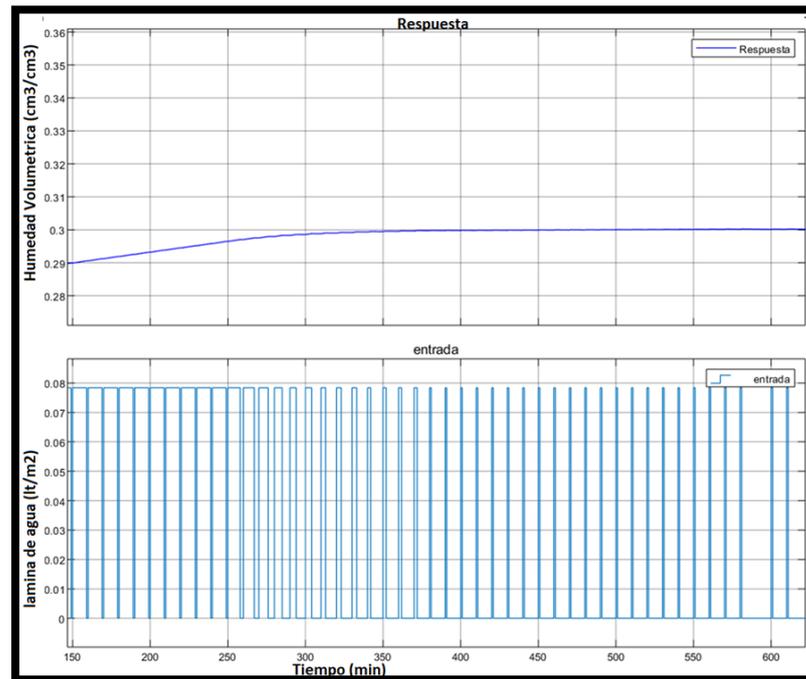


Figura 5.8: Control de agua con una electroválvula

Simulando los dos tipos de accionamientos en las mismas condiciones obtenemos lo siguiente:

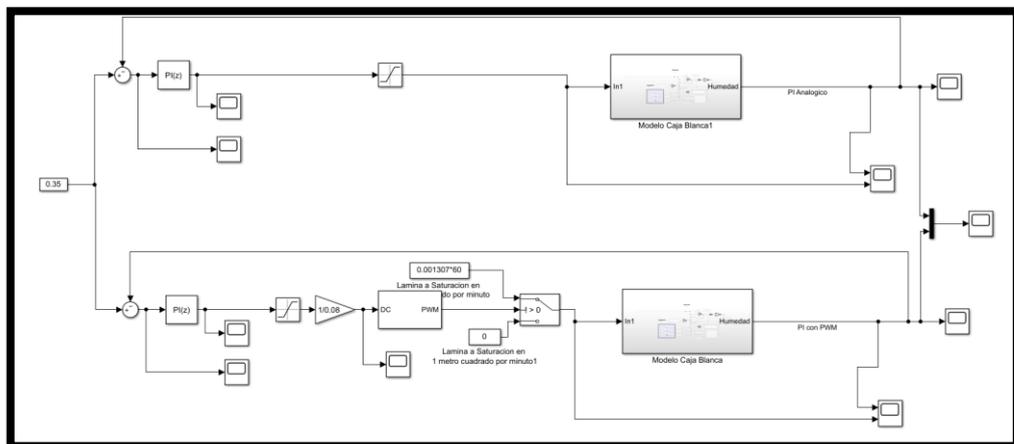


Figura 5.9: Implementación en simulink de los dos tipos de accionamientos

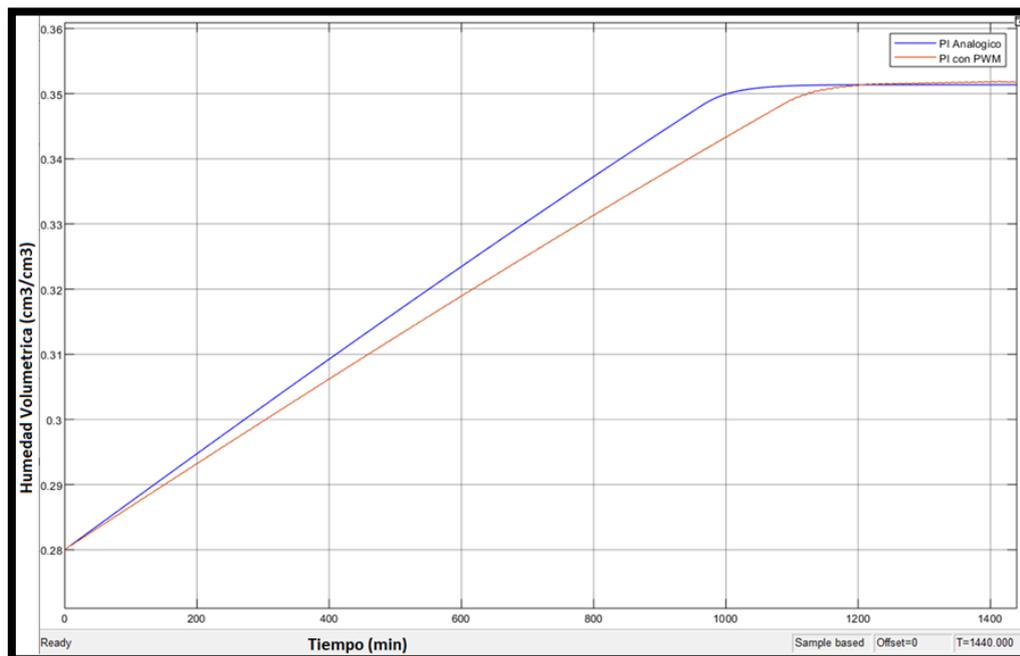


Figura 5.10: Diferencia entre las respuestas con una servoválvula y una electroválvula

Donde podemos apreciar que el control con servoválvula, llega al set point en menor tiempo que el control con electroválvula.

Analizando el comportamiento de ambos tipos de accionamientos, y la realidad en los sistemas de riegos, es más factible utilizar una electroválvula a pesar que el tiempo de estabilización con la servoválvula es menor, por los siguientes factores.

- 1.- los requerimientos físicos para la utilización de sistemas de riego (aspersores, goteros entre otros) necesitan una presión determinada para funcionar, y comúnmente son auto-compensantes por lo cual no permiten variar fácilmente el flujo de agua.
- 2.- si el sistema no es a gravedad, la bomba de riego tendría que pasar prendida todo el tiempo para proporcionar ese mínimo flujo de agua requerido por el controlador.

5.3 Implementación del controlador

Se procedió a simular en el modelo caja blanca y el modelo caja negra ambos PI previamente sintonizados, con el fin de establecer en ambos modelos cual es el que mejor se adapta a los requerimientos.

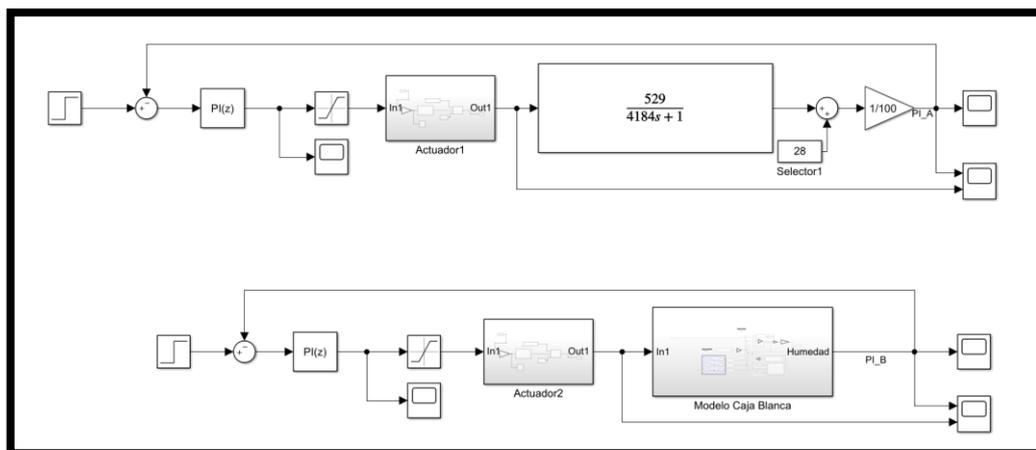


Figura 5.11: Diagrama de los modelos matemáticos ante una entrada escalón

Las siguientes gráficas, pertenecen al modelo Caja Negra y caja blanca respectivamente, ante una entrada escalón durante un tiempo de 2880 minutos (dos días)

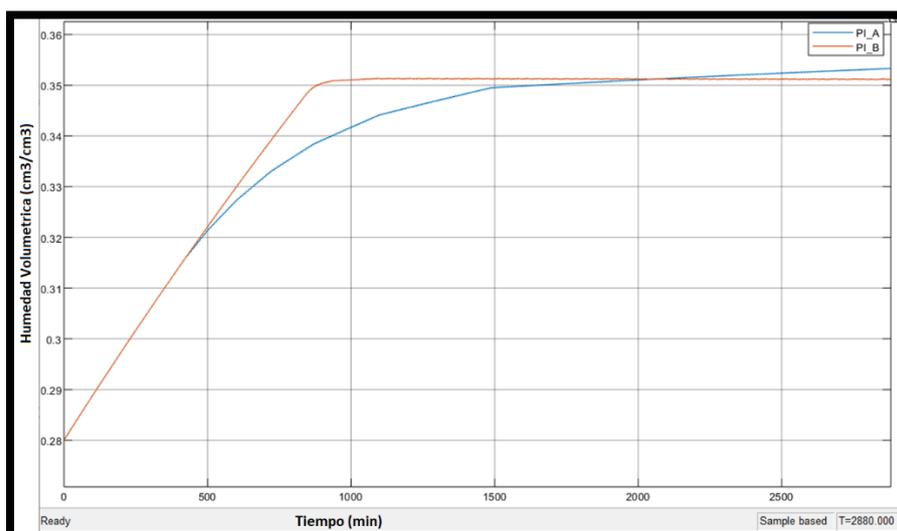


Figura 5.12: PI_A en modelo caja negra

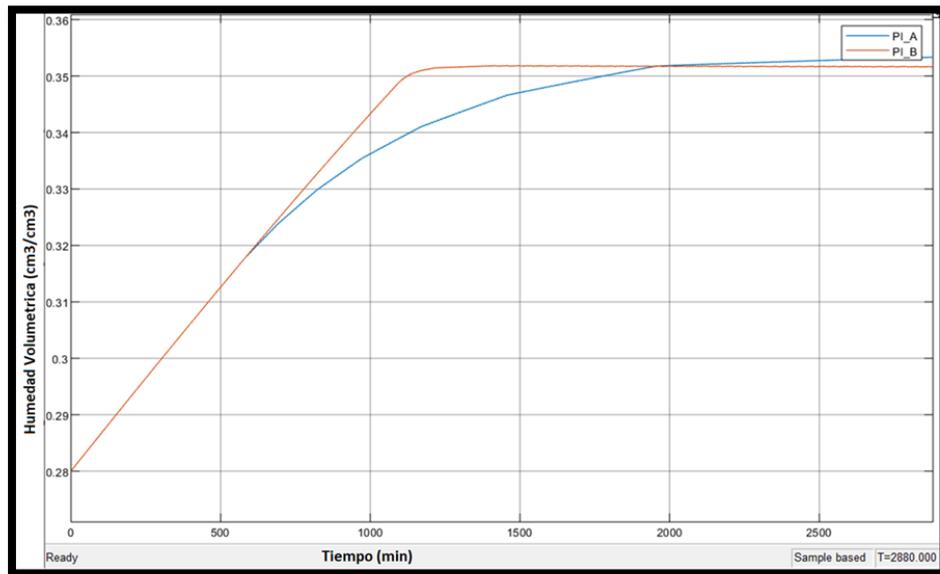


Figura 5.13: PI_B en modelo caja blanca

En ambos casos se aprecia que el controlador PI sintonizado con el diagrama del modelo caja blanca (PI_B) responde más agresivamente para llegar más rápido a su set point, mientras que el PI_A retrasa un poco más el proceso.

Ya que en un sistema de riego el tiempo que pasan activadas las bombas es determinante al implicar consumo de recursos, de aquí en adelante trabajaremos con el PI_B, al cual nos referiremos como "PI".

5.4 Comparación de modelos caja negra y caja blanca usando un controlador

Se simulan ante una entrada escalón en ambos modelos matemáticos con una duración de 2880 minutos que equivale a dos días, con el fin de comparar las respuestas de cada uno.

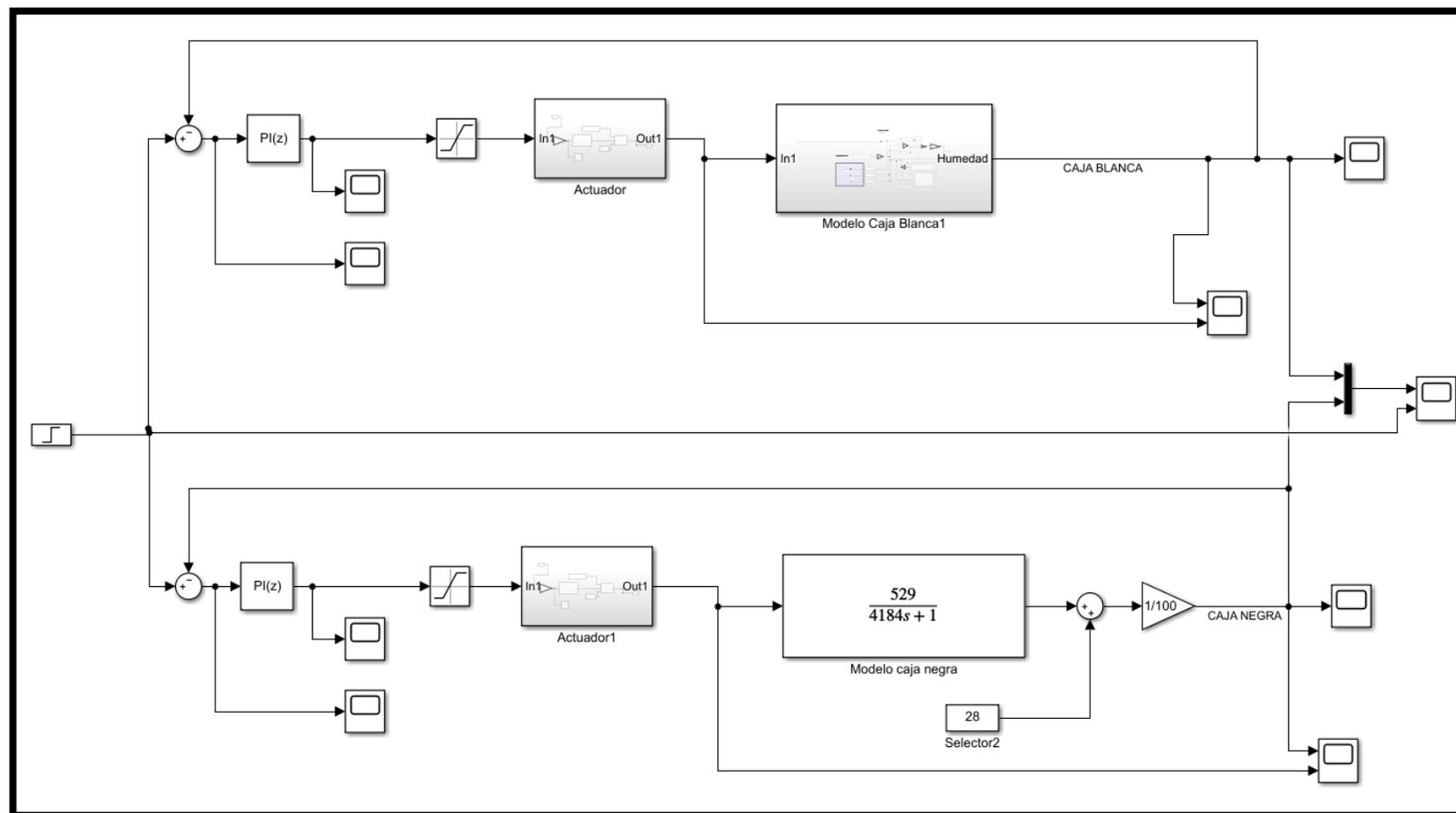


Figura 5.14: Simulación en paralelo ante una entrada escalón

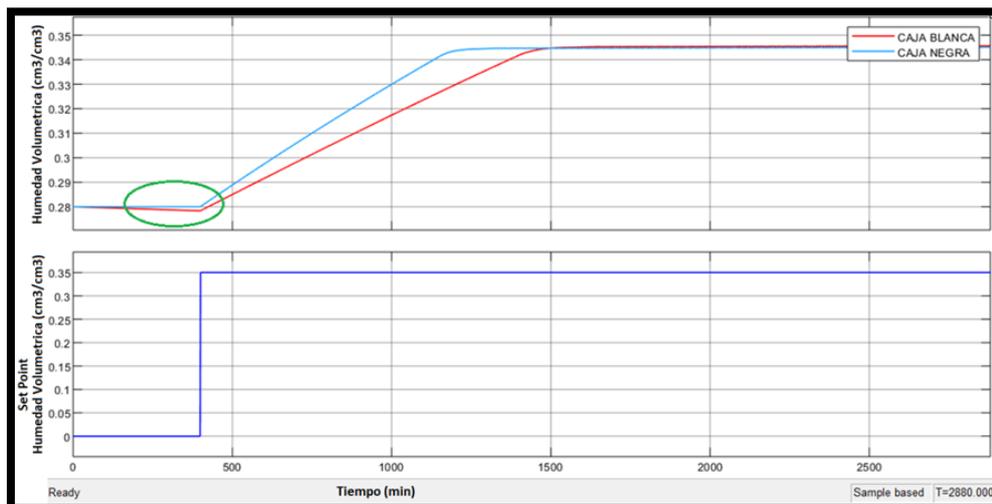


Figura 5.15: Respuestas de los modelos matemáticos en paralelo ante una entrada escalón

Ambos modelos reaccionan de una manera similar, se diferencia de ellos es como el comportamiento de la caja blanca al inicio representa una pérdida de agua por evapotranspiración mientras que la caja negra no, y la diferencia de 300 minutos aproximadamente en el tiempo de estabilización.

Una vez seleccionado un tipo de controlador, si simulan ambas plantas con diferentes sets point en un lapso de 8 días.

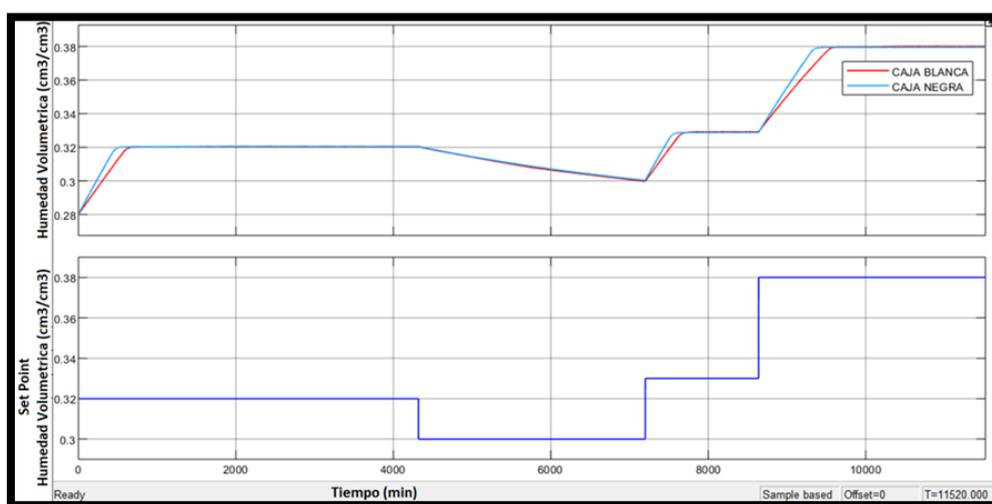


Figura 5.16: Respuesta del controlador en ambos modelos ante diferentes Set Points

Ambos modelos responden adecuadamente ante el controlador.

Este tipo de procesos no requiere un control de humedad severo, es decir puede tener un rango tolerable de desviación.

Ya que su dinámica es lenta, las plantaciones que cuentan con sistemas automatizados de riego, comúnmente utilizan un método de control basado en un rango de histéresis, o simplemente estimaciones de cuanto es el consumo del cultivo y según eso el valor del riego.

Según el tipo de planta, suelo, y condiciones atmosféricas los cultivos tienen rango de humedad donde su desarrollo es óptimo, por lo cual es dentro de este rango que se controlan los niveles de humedad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante los modelos matemáticos de caja blanca y caja negra se pudo determinar la cantidad de agua que es necesaria para mantener a una humedad establecida una planta de cacao según su consumo de evapotranspiración e infiltración, pudiendo utilizarlos como modelos predictivos en las diferentes etapas de riego.

El modelo matemático caja blanca obtenido a través de las ecuaciones de balance es una herramienta útil que representa la dinámica del agua en suelos homogenizados, para de esta manera parametrizarse según las características físicas de los suelos a utilizarse.

El estudio realizado es ampliamente aplicable en viveros y cultivos controlados donde se definan las variables para calcularla frecuencia de riego

La identificación para realizar modelos matemáticos de suelos es un método rápido y fiable que puede ser utilizado para diseñar sistemas de riegos específicos para un tipo de suelo.

Tanto el modelo caja blanca como el modelo caja negra tienen comportamiento similar al proceso real, siendo válida la utilización de estas para la predicción del comportamiento de la dinámica del agua con las variables físicas con las cuales fueron calculadas.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- se puede extender el estudio a suelos no preparado en campo, realizando muestras de diferentes tipos de suelos que lo componen y utilizando varios modelos según cada tipo de suelo en forma de cascada.
- el estudio se puede ampliar a suelos con un alto nivel freático, en el cual hay que analizar el ascenso capilar que modificaría la dinámica de la infiltración.
- Se recomienda la calibración individual de cada sensor de humedad en el laboratorio de suelos ya que tiene un alto margen de desviación entre ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Embid and L. Martín, "El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias," *CEPAL - Recur. Nat. e Infraestruct.*, no. 179, p. 71, 2017.
- [2] J. M. Polo-santos, "Rendimiento del cultivo de yuca con abonos orgánicos y químicos en un suelo ácido Manihot cultivation yield using organic and chemical," vol. 14, no. 1, pp. 57–64, 2016.
- [3] M. Odi-Lara, F. Paz-Pellat, R. López-Urrea, and J. González-Piqueras, "Definición de la etapa de desarrollo de los cultivos para estimar evapotranspiración usando la metodología FAO-56 y sensores remotos," *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 4, no. 3, pp. 87–102, 2013.
- [4] E. Chavez-Ramirez *et al.*, "Uso de estaciones climatologicas automaticas y modelos matematicos para determinar la evapotranspiracion," *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 4, no. 4, pp. 115–126, 2013.
- [5] E. Zimmermann and P. Basile, "Metodología de agregación para estimar conductividades hidráulicas en suelos heterogéneos insaturados," *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. V, no. 4, pp. 39–55, 2014.
- [6] J. G. Lozano and L. P. M. Fonseca, "Respuestas fisiológicas de Theobroma cacao L. En etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo," *Acta Agron.*, vol. 65, no. 1, pp. 44–50, 2016, doi: 10.15446/acag.v65n1.48161.
- [7] A. M. Toro-Trujillo, R. Arteaga-Ramírez, M. A. Vázquez-Peña, and L. A. Ibáñez-Castillo, "Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia," *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 7, no. 6, pp. 105–122, 2016.
- [8] C. Chávez, C. Mota, C. Fuentes, and A. Quevedo, "Modelación bidimensional de la infiltración del agua en surcos aplicando el gradiente conjugado," *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 9, no. 1, pp. 89–100, 2018, doi: 10.24850/j-tyca-2018-01-06.
- [9] M. A. Segura-Castruita and C. A. Ortiz-Solorio, "Modelación de la

evapotranspiración potencial mensual a partir de temperaturas máximas-mínimas y altitud,” *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 8, no. 3, pp. 93–110, 2017.

[10] F. Rada, R. E. Jaimez, C. Garcia-Núñez, A. Azócar, and M. E. Ramírez, “Relaciones hidricas e intercambio de gases en theobroma cacao Var. guasare bajo periodos de deficit hidrico,” *Rev. F. Agron*, vol. 22, pp. 112–120, 2005.

[11] J. Hall, “Smithsonian : La edad de bosques tropicales determina su respuesta a la sequía,” pp. 15–17, 2018.

[12] G. R. M. M. Egea Cegarra Gregorio, Nortes Tortosa Pedro Antonio, Baille Alain, Martín Górriz Bernardo, “Utilidad de la medida de flujo de savia como indicador de la tasa de transpiración en plantas de pepino,” *Jornadas Introd. a la Investig. la UPCT*, pp. 13–15, 2009.

[13] C. Mbah, “Determining The Field Capacity, Wilting Point and Available Water Capacity of Some Southeast Nigerian Soils Using Soil Saturation From Capillary Rise.,” *Niger. J. Biotechnol.*, vol. Vol. 24, pp. 41–47, 2012.

[14] L. M. Angel Acosta and D. G. Pineda Avellaneda, “Medición de la conductividad hidráulica y curvas de retención de humedad en suelos parcialmente saturados utilizando metodologías modernas,” 2019.

[15] P. Pérez Cutillas, G. González Barberá, and C. Conesa García, “Estimación de la humedad del suelo a niveles de capacidad de campo y punto de marchitez mediante modelos predictivos a escala regional,” *Boletín la Asoc. Geógrafos Españoles*, no. 68, pp. 325–346, 2015, doi: 10.21138/bage.1864.

[16] FAO, *Optimizacion de la humedad del suelo para la produccion vegetal*. ROMA, 2005.

[17] D. L. Martino, “Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa,” pp. 225–257, 2001.

[18] S. J. M. Montoro A., López-Urrea R., Mañas F., Martínez L., “Transpiración Nocturna En Vid,” *XXXIV Congr. Nac. Riegos, Sevilla 2016 A-11*, no. 1, pp. 2–7, 2016, doi: 10.21151/cnriegos.2016.a11.

[19] T. Arduino, “Arduino - Getting Started,” *Arduino.cc*, 2014. [Online]. Available:

<https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>. [Accessed: 22-Jan-2020].

[20] F. OpenJS, "Node-RED." [Online]. Available: <https://nodered.org/>. [Accessed: 22-Jan-2020].

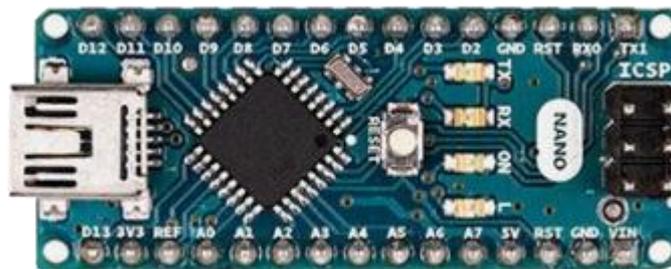
[21] C. Schugurensky and F. Capraro, "Control automático de riego agrícola con sensores capacitivos de humedad de suelo. Aplicaciones en vid y olivo," Jan. 2020.

[22] "Cubicajes, mediciones y curiosas comparaciones | iAgua." [Online]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/cubicajes-mediciones-y-curiosas-comparaciones>. [Accessed: 22-Jan-2020].

ANEXOS

ANEXO 1

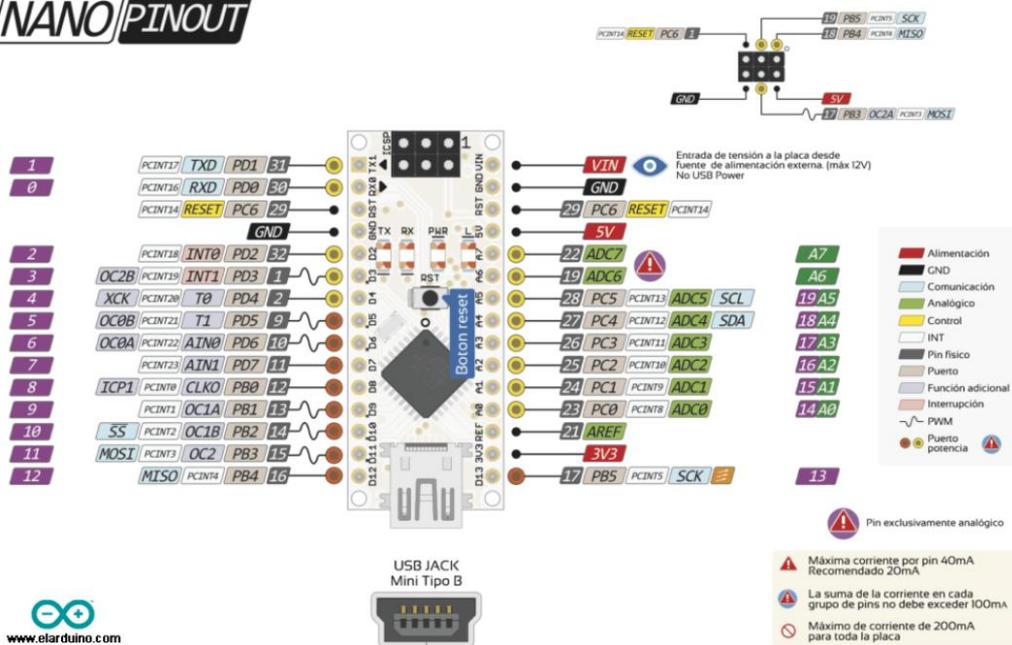
Arduino Nano:



[Arduino Nano](#) es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con [protoboards](#), basada en el microcontrolador [ATmega328P](#). Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, [conexión Mini-USB](#), terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo.

Posee las mismas capacidades que un [Arduino UNO](#), tanto en potencia del microcontrolador como en conectividad, solo se ve recortado en su conector USB, conector jack de alimentación y los pines cambia un formato de pines header.

NANO PINOUT



Pinout del Arduino Nano cortesía de pighixx

ANEXO 2

Raspberry Pi Zero W:

Technical Specifications

The Raspberry Pi Zero W extends the Pi Zero family. Launched at the end of February 2017, the Pi Zero W has all the functionality of the original Pi Zero, but comes with with added connectivity, consisting of:

802.11 b/g/n wireless LAN

Bluetooth 4.1

Bluetooth Low Energy (BLE)

Like the Pi Zero, it also has:

1GHz, single-core CPU

512MB RAM

Mini HDMI and USB On-The-Go ports

Micro USB power

HAT-compatible 40-pin header

Composite video and reset headers

CSI camera connector

Position **Power** **Ground** **Control** **GPIO**

Wiring **BCM** **Serial** **PWM** **Misc**

Different places use different pin numbers
GPIO, Wiring, and BCM have been included.

		3.3V	1		2	5V			
SDA	8	2	3		4	5V			
SCL	9	3	5		6	GND			
GPCLK0	4	7	4	7	8	14	15	TXD	
			GND	9	10	15	16	RXD	
spi1 CS1	17	0	17	11	12	18	1	18	PWM0 spi1 CS0
	27	2	27	13	14	GND			
	22	3	22	15	16	23	4	23	
			3.3V	17	18	24	5	24	
MOSI	12	10	19		20	GND			
MISO	13	9	21		22	25	6	25	
SCLK	14	11	23		24	8	10	SPI CS0	
			GND	25	26	7	11	SPI CS1	
ID_SD	30	0	DNC	27	28	DNC	1	31	ID_SC
GPCLK1	5	21	5	29	30	GND			
GPCLK2	6	22	6	31	32	12	26	12	PWM0
PWM1	13	23	13	33	34	GND			
	19	24	19	35	36	16	27	16	spi1 CS2
	26	25	26	37	38	20	28	20	mosi1
			GND	39	40	21	29	21	sclk1
TV +		TV		Run	Run				
TV -		TV		Run	Run				

GPIO 0 and 1 are reserved - Do Not Connect
PAL or NTSC via composite video on TV pads
Run - temporarily connect pins to reset chip (or start chip after a shutdown)
Camera Connector (not on Zero 1.1 or 1.2) - 22pin, 0.5mm
Board Dimensions - 65mm x 30mm x 0.2mm
Mounting holes M2.5

ANEXO 3

Sensor de humedad del suelo:



Introducción

Nuestro **sensor de humedad del suelo** mide los niveles de **humedad del** suelo mediante la detección capacitiva en lugar de la detección resistiva como otros sensores en el mercado. Está hecho de material resistente a la corrosión que le brinda una excelente vida útil. ¡Insértelo en el suelo alrededor de sus plantas e impresione a sus amigos con datos de humedad del suelo en tiempo real! Este módulo incluye un regulador de voltaje incorporado que le da un rango de voltaje operativo de 3.3 ~ 5.5V. Es perfecto para MCU de bajo voltaje, tanto 3.3V como 5V. Para compatibilidad con una frambuesa Pi necesitará un convertidor ADC. Este sensor de humedad del suelo es compatible con nuestra interfaz "Gravity" de 3 pines, que se puede conectar directamente al escudo de expansión de E / S Gravity.

Especificación

Voltaje de funcionamiento: 3.3 ~ 5.5 VDC

Voltaje de salida: 0 ~ 3.0VDC

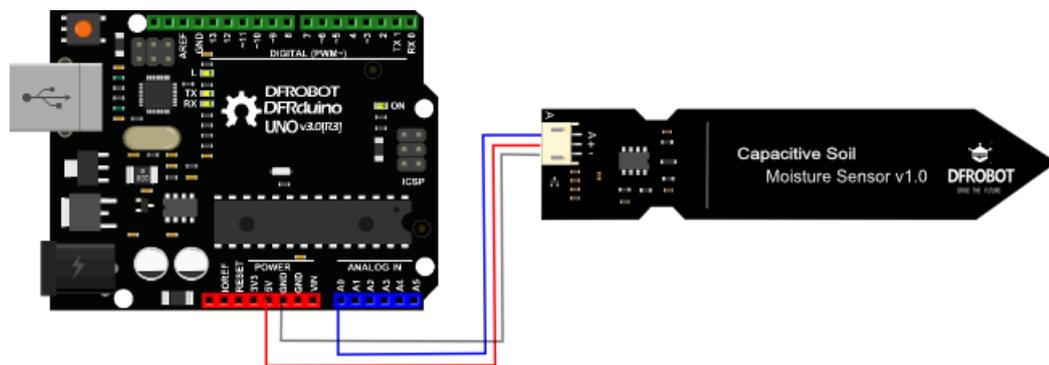
Corriente de funcionamiento: 5 mA

Interfaz: PH2.0-3P

Dimensiones: 3.86 x 0.905 pulgadas (L x W)

Peso: 15g

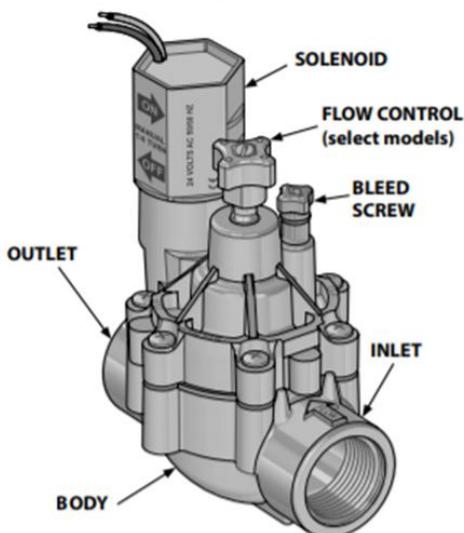
Diagrama de conexión



ANEXO 4

Válvula para riego:

English

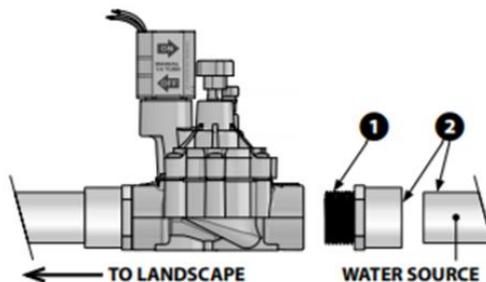
RAIN BIRD®**CP/CPF Series Valve Installation and Operation****Before Installation**

- Install master valves, pressure regulators and backflow preventers as needed.
- A pressure regulator is required if water pressure exceeds 150 PSI (recommended over 80 PSI).
- Inline valves require a separate backflow preventer in the main line. Check local building codes.
- Flush the system thoroughly until water runs clear.
- Shut off the main water supply.

Connect Valve to Pipes

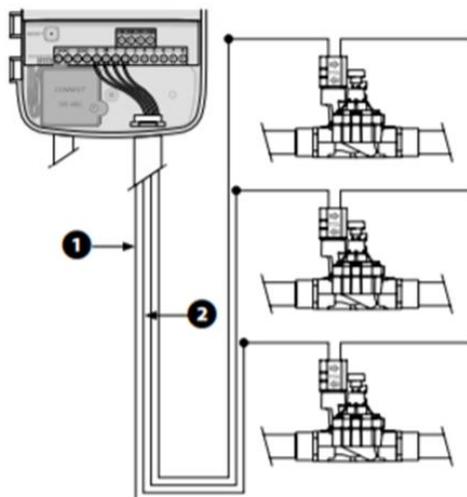
- 1 Apply PTFE thread-seal tape to the male threads on the adapters, screw into the valve and hand-tighten (do not use PVC glue or pipe dope on adapter threads).
- 2 Apply primer and then PVC cement to the ends of the pipe and inside the adapters per manufacturer's instructions.

- 3 Ensure the valve arrows face in the direction of water flow, and push valve onto inlet and outlet pipes until secure. Follow PVC cement instructions for cure time.

**Connect Valve Wires**

! NOTE: Use watertight connectors and direct burial wire for all connections.

- 1 Connect one solenoid wire to a common wire (usually white). All valves can share the same common wire.
- 2 Connect the second solenoid wire to a power wire (usually colored).



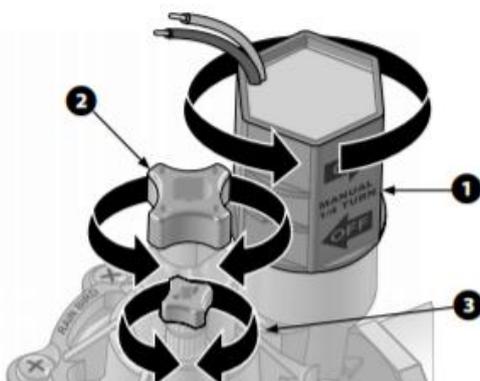
Valve Operation

Manual Operation:

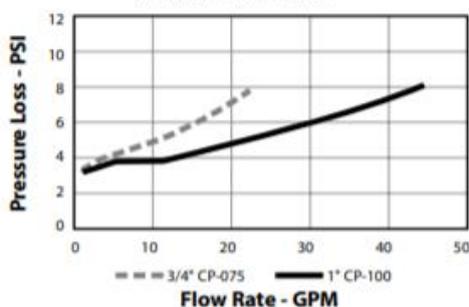
- 1 Manual on: Turn the solenoid counter-clockwise 1/4 turn. Do not unscrew completely. To close, hand tighten clockwise.
- 2 Flow control (select models only): Turn clockwise to restrict flow. Turn counter-clockwise to open flow.
- 3 Flush valve to clear debris: Turn the bleed screw counter-clockwise ONLY 1 turn. Flush one minute and turn clockwise to close.

First Use:

- 4 Open the main water supply and flush one minute with bleed screw to clear debris.
- 5 Test wiring by using the Manual Water feature on the irrigation controller.
- 6 Adjust the flow control to reduce over-spray. (select models).



Pressure Loss Chart



Operating Ranges

	075-CP / 075-CPF	100-CP / 100-CPF
Flow ²	0.2 - 22 GPM	0.2 - 40 GPM
Pressure	15 - 150 PSI	15 - 150 PSI

! **NOTE:** For flows below 3 GPM (0.75 m³/h), or any drip application, use a 200 mesh filter upstream and a pressure regulating filter downstream from the valve. 40 psi for 1" and 30 psi for 3/4" drip lines.

Troubleshooting

Symptom	Solution
Valve Won't Turn On when Solenoid is Turned	Make sure flow control is open (select models) Check that main water supply is on Make sure piping is connected properly and not blocked
Valve Won't Turn On at the Timer	Verify timer settings are correct Check and repair wiring and connections as needed Check and replace valve solenoid as needed Verify timer power output
Valve Won't Shut-off	Verify timer settings are correct Hand tighten solenoid and bleed screw if needed
Valve Won't Turn On at the Valve	Incorrect timer settings Check wiring Check solenoid Timer not supplying power to the valve Make sure the Flow Control stem is not turned all the way closed
Leaks at sprinkler heads	Clear debris by opening the bleed screw and flushing 1 minute Remove and clean the diaphragm. Replace if needed.
Leaks around the valve	Check pipe fittings connection and glue, repair or replace as needed Hand tighten solenoid and bleed screw if needed If vacuum breaker is leaking (anti-siphon models) remove cap, gasket, and internal piston gasket to clean and reassemble Turn off main water supply, relieve pressure on the valve by opening the bleed screw and tighten the jar top bonnet

! **NOTE:** During winter, shutdown and drain the system to protect valves from freezing. Failure to properly drain the lines can result in damage to the valves, which is not covered under the customer satisfaction policy.

ANEXO 5

RTC:

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μ P reset.

Benefits and Features

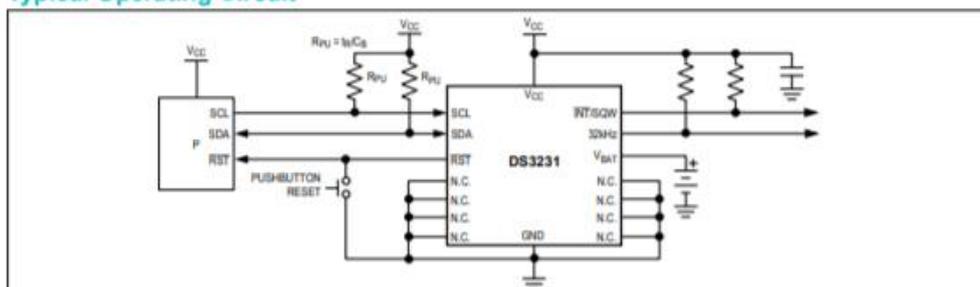
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
 - Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: $\pm 3^\circ\text{C}$ Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.

ANEXO 6

RS232/USB:



SILICON LABS

CP2102/9

SINGLE-CHIP USB-TO-UART BRIDGE

For newer designs, the CP2102N devices offer compatible footprints and are recommended for use instead of the CP2102/9. See the Silicon Labs website (www.silabs.com/usbxpress) for more information.

Single-Chip USB to UART Data Transfer

- Integrated USB transceiver; no external resistors required
- Integrated clock; no external crystal required
- Internal 1024-byte programmable ROM for vendor ID, product ID, serial number, power descriptor, release number, and product description strings
 - EEPROM (CP2102)
 - EPROM (One-time programmable) (CP2109)
- On-chip power-on reset circuit
- On-chip voltage regulator
 - 3.3 V output (CP2102)
 - 3.45 V output (CP2109)
- 100% pin and software compatible with CP2101

USB Function Controller

- USB Specification 2.0 compliant; full-speed (12 Mbps)
- USB suspend states supported via SUSPEND pins

Asynchronous Serial Data BUS (UART)

- All handshaking and modem interface signals
- Data formats supported:
 - Data bits: 5, 6, 7, and 8
 - Stop bits: 1, 1.5, and 2
 - Parity: odd, even, mark, space, no parity
- Baud rates: 300 bps to 1 Mbps
- 576 Byte receive buffer; 640 byte transmit buffer
- Hardware or X-On/X-Off handshaking supported
- Event character support
- Line break transmission

Virtual COM Port Device Drivers

- Works with existing COM port PC Applications
- Royalty-free distribution license
- Windows 8/7/Vista/Server 2003/XP/2000
- Mac OS-X/OS-9
- Linux

USBXpress™ Direct Driver Support

- Royalty-Free Distribution License
- Windows 7/Vista/XP/Server 2003/2000
- Windows CE

Example Applications

- Upgrade of RS-232 legacy devices to USB
- Cellular phone USB interface cable
- USB interface cable
- USB to RS-232 serial adapter

Supply Voltage

- Self-powered: 3.0 to 3.6 V
- USB bus powered: 4.0 to 5.25 V

Package

- RoHS-compliant 28-pin QFN (5x5 mm)

Ordering Part Numbers

- CP2102-GM
- CP2109-A01-GM

Temperature Range: -40 to +85 °C

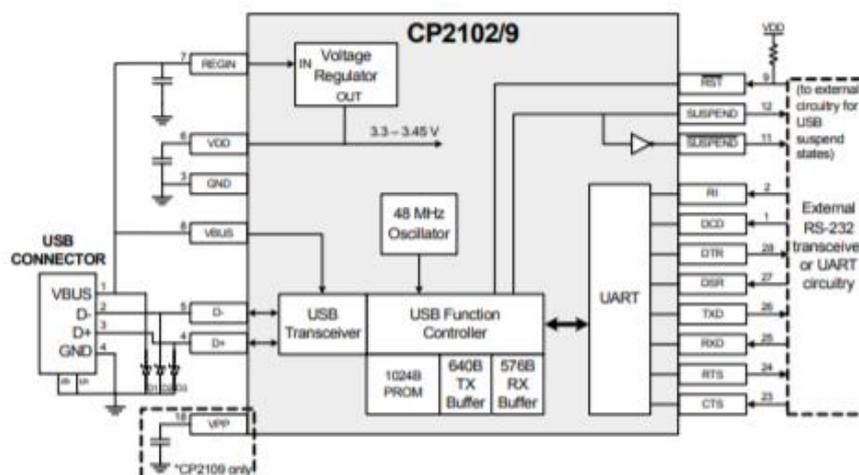


Figure 1. Example System Diagram

ANEXO 7**Código del arduino para el sensado y control de humedad**

```

String msg_maestro = "";
const char separator = ',';
//const int dataLength = 3;
int data[7];
int sensor1=A0;
int valvula1=2; //pin de activacion de la valvula
int humedad_max=28; //valor estandar de la humedad maxima
int humedad_media=26; //valor estandar de la humedad media
int humedad_min=25; //valor estandar de la humedad minima
String hume1_1; //humedad volumetrica en formato string
double hu1; //humedad volumetrica en formato double
int PosicionComa; //Variable que nos dice la posicion de la coma en el mensaje.
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //inicializacion del puerto serial
  pinMode(valvula1, OUTPUT);
  digitalWrite (valvula1,LOW);
}
void lecturaSerial()
{ //lectura del puerto serial y separacion de datos
  if (Serial.available())
  {

```

```

msg_maestro = Serial.readStringUntil('\n');

int i = 0;

do

{

    PosicionComa = msg_maestro.indexOf (','); //Buscamos la primera coma del
mensaje.

    if (PosicionComa != -1)

    {

        i++;

        data[i] = msg_maestro.substring (0, PosicionComa).toInt();

        msg_maestro      =      msg_maestro.substring      (PosicionComa+1,
msg_maestro.length());

    }

    else

    { //Entramos aqui si ya no quedan mas ','

        data[7] = msg_maestro.toInt();

        //Serial.println("aquiii");

        msg_maestro = "";

    }

} while (PosicionComa > 0 );

}

//asignacion de datos

humedad_max=data[2];

humedad_media=data[3];

humedad_min=data[4];

}

```

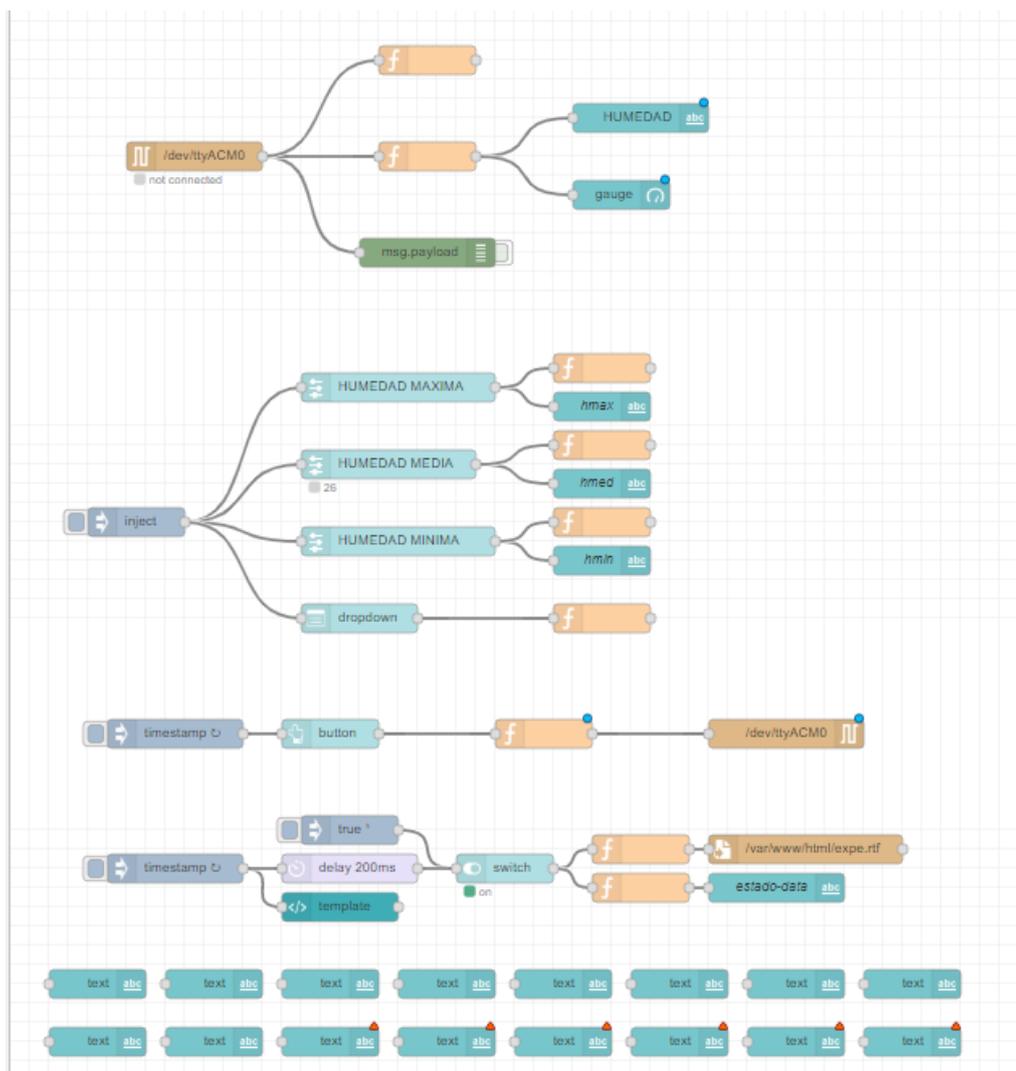
```
void loop()
{
  lecturaSerial();
  lectura_sensor();
}
void lectura_sensor()
{
  int hu1aux = analogRead (sensor1); //lectura del sensor de humedad
  Serial.print("S1 = ");
  Serial.println(hu1);
  double milis = hu1*5.0/1023;
  //comparacion para determinar la formula a utilizar
  if(milis <= 1.3098)
  {
    //primera ecuacion
    hu1 = -2.4773*milis+3.6699;
  }
  else
  {
    //segunda ecuacion
    hu1 = 0.8811*milis*milis -0.6893*milis+1.1791 ;
  }
  hume1_1 =String(hu1);
  delay(25);
}
```

```
    Serial.println(hume1_1);
    delay(1000);
}
void RIEGO_TOTAL()
{
    while(hu1 < humedad_max )
    {
        delay(1000);
        if(hu1 < humedad_max)
        {
            digitalWrite (valvula1,HIGH);
        }
        else
        {
            digitalWrite (valvula1,LOW);
        }
        lectura_sensor();
        Serial.println("riego total >> " + String(humedad_max));
        Serial.println("H1 = " + hume1_1);
    }
    digitalWrite (valvula1,LOW);
}
```

ANEXO 8

Implementación de HMI y guardados de datos en NODE-RED:

Flujo de nodos



Archivo JSON de los flujos para su importación en NODE-RED

```
[{"id":"1764a91e.4d11a7","type":"serial
out","z":"a4dece22.1de66","name":"","serial":"89dfc226.0cd2e","x":800,"y":760,"wires":[
]},{id":"f810b5c0.bc0d08","type":"inject","z":"a4dece22.1de66","name":"","topic":"","pay
load":"","payloadType":"str","repeat":"","crontab":"","once":false,"onceDelay":0.1,"x":13
0,"y":540,"wires":["7f8c21e.d579ee","d800ba71.ba2f98","eeefc0f.549a44","eb7658e9.
1ee138"]},{id":"52bd9479.8f933c","type":"ui_button","z":"a4dece22.1de66","name":"","
group":"343f3f4a.da8d6","order":10,"width":10,"height":1,"passthru":false,"label":"butto
n","tooltip":"","color":"","bgcolor":"","icon":"","payload":"1","payloadType":"str","topic":"","
x":330,"y":760,"wires":["28fd500a.d0b42"]},{id":"8742bfa.681ff4","type":"ui_text","z":"a
4dece22.1de66","group":"343f3f4a.da8d6","order":6,"width":10,"height":1,"name":"","la
bel":"","format":"","layout":"row-
center","x":450,"y":1020,"wires":[]},{id":"7f8c21e.d579ee","type":"ui_slider","z":"a4dece
22.1de66","name":"","label":"HUMEDAD
MAXIMA","tooltip":"","group":"343f3f4a.da8d6","order":2,"width":5,"height":6,"passthru":
true,"outs":"all","topic":"","min":0,"max":100,"step":1,"x":400,"y":400,"wires":["cc2d21b
a.5722e","4333b7b8.7d7dd8"]},{id":"cc2d21ba.5722e","type":"ui_text","z":"a4dece22.
1de66","group":"343f3f4a.da8d6","order":11,"width":5,"height":1,"name":"hmax","label":
":"","format":"{{msg.payload}}","layout":"col-
center","x":610,"y":420,"wires":[]},{id":"d800ba71.ba2f98","type":"ui_slider","z":"a4dece
22.1de66","name":"","label":"HUMEDAD
MEDIA","tooltip":"","group":"343f3f4a.da8d6","order":3,"width":5,"height":6,"passthru":tr
ue,"outs":"all","topic":"","min":0,"max":100,"step":1,"x":390,"y":480,"wires":["d50d975
3.953648","6bd625cd.cf836c"]},{id":"d50d9753.953648","type":"ui_text","z":"a4dece22
.1de66","group":"343f3f4a.da8d6","order":12,"width":5,"height":1,"name":"hmed","label"
":"","format":"{{msg.payload}}","layout":"col-
center","x":610,"y":500,"wires":[]},{id":"eeefc0f.549a44","type":"ui_slider","z":"a4dece2
2.1de66","name":"","label":"HUMEDAD
MINIMA","tooltip":"","group":"343f3f4a.da8d6","order":4,"width":5,"height":6,"passthru":t
rue,"outs":"all","topic":"","min":0,"max":100,"step":1,"x":400,"y":560,"wires":["7a5be33
a.49d87c","b6a4251a.fc92e8"]},{id":"7a5be33a.49d87c","type":"ui_text","z":"a4dece22
.1de66","group":"343f3f4a.da8d6","order":13,"width":5,"height":1,"name":"hmin","label":
":"","format":"{{msg.payload}}","layout":"col-
center","x":610,"y":580,"wires":[]},{id":"eb7658e9.1ee138","type":"ui_dropdown","z":"a4
dece22.1de66","name":"","label":"","tooltip":"","place":"Select
option","group":"343f3f4a.da8d6","order":8,"width":10,"height":1,"passthru":false,"optio
ns":[{"label":"RIEGO TOTAL","value":"1","type":"str"},{"label":"RIEGO
PARCIAL","value":"2","type":"str"},{"label":"CONTROL MANUAL
MANUAL","value":"3","type":"str"}],"payload":"","topic":"","x":360,"y":640,"wires":["16d8
055c.926c5b"]},{id":"c1d5f364.11db4","type":"ui_text","z":"a4dece22.1de66","group":"
343f3f4a.da8d6","order":7,"width":1,"height":7,"name":"","label":"","format":"","layout":"r
```

OW-

```
center", "x":570, "y":1020, "wires":[]}, {"id": "22f2ad3.92fe152", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 5, "width": 1, "height": 7, "name": "", "label": "", "format": "", "layout": "row-center", "x": 330, "y": 1020, "wires": []}, {"id": "162a62a4.d56a8d", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 18, "width": 14, "height": 1, "name": "", "label": "", "format": "", "layout": "row-spread", "x": 90, "y": 1080, "wires": []}, {"id": "a4173a78.ef9048", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 21, "width": 8, "height": 2, "name": "", "label": "", "format": "", "layout": "row-spread", "x": 90, "y": 1020, "wires": []}, {"id": "44073833.cc34e8", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 9, "width": 10, "height": 3, "name": "", "label": "", "format": "", "layout": "row-spread", "x": 210, "y": 1020, "wires": []}, {"id": "4333b7b8.7d7dd8", "type": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "\nvar H1= msg.payload;\n\nflow.set(\\"H1\\", H1);\n\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 610, "y": 380, "wires": [[]]}, {"id": "b6a4251a.fc92e8", "type": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "\nvar H3= msg.payload;\n\nflow.set(\\"H3\\", H3);\n\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 610, "y": 540, "wires": [[]]}, {"id": "6bd625cd.cf836c", "type": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "\nvar H2= msg.payload;\n\nflow.set(\\"H2\\", H2);\n\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 610, "y": 460, "wires": [[]]}, {"id": "9b318746.efdc98", "type": "inject", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "topic": "", "payload": "", "payloadType": "date", "repeat": "2", "crontab": "", "once": false, "onceDelay": 0.1, "x": 170, "y": 760, "wires": [{"id": "52bd9479.8f933c"}]}, {"id": "28fd500a.d0b42", "type": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "\nvar BOTON= msg.payload;\n\n var H1=flow.get ('H1'); // agarrar variable\n\n var H2=flow.get ('H2'); \n\n var H3=flow.get ('H3'); \n\n var TR=flow.get ('TR'); \n\nvar MENSAJE1=(\\"1\\'+\\',\\'+H1+\\',\\'+H2+\\',\\'+H3+\\',\\'+TR);\n\nMENSAJE1={payload: MENSAJE1.toString()}\n\n\nif (BOTON == 1) {\n\n BOTON=0;\n\n\n return MENSAJE1;\n\n}\n\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 550, "y": 760, "wires": [{"id": "1764a91e.4d11a7"}]}, {"id": "16d8055c.926c5b", "type": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "\nvar TR= msg.payload;\n\n\nflow.set(\\"TR\\", TR);\n\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 610, "y": 640, "wires": [[]]}, {"id": "6f0bdc1.ba4e124", "type": "file", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "filename": "/var/www/html/expe.rtf", "appendNewline": false, "createDir": true, "overwriteFile": "false", "encoding": "none", "x": 820, "y": 880, "wires": [[]]}, {"id": "75806100.c9424", "type": "inject", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "topic": "", "payload": "", "payloadType": "date", "repeat": "0.8", "crontab": "", "once": true, "onceDelay": "2", "x": 170, "y": 900, "wires": [{"id": "4c04eef.45f601"}, {"id": "94460743.9232c8"}]}, {"id": "444ce629.6fac08", "type": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "\nvar BOTON= msg.payload;\n\n\nvar data=flow.get ('data'); // agarrar variable\n\n\ndata={payload: data.toString()}\n\n\n\nif (BOTON == 1) {\n\n BOTON=0;\n\n\n return data;\n\n}\n\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 650, "y": 880, "wires": [{"id": "6f0bdc1.ba4e124"}]}, {"id": "4c04eef"}]
```

```
.45f601", "type": "ui_template", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "name":
", "order": 20, "width": 6, "height": 2, "format": "\n\n\n\n<a class=\"boton_personalizado\"
href=\"http://192.168.1.24/expe.rtf\">DESCARGAR DATOS</a>\n\n<style
type=\"text/css\">\n .boton_personalizado{\n  text-decoration: none;\n  text-align:
center;\n  padding: 10%; \n  font-weight: 100%; \n  font-size: 100%; \n  color:
#ffffff; \n  background-color: #1883ba; \n  border-radius: 6px; \n  border: 2px solid
#0016b0; \n } \n .boton_personalizado:hover{\n  color: #1883ba; \n  background-
color: #ffffff; \n
}\n\n</style>\n", "storeOutMessages": true, "fwdInMessages": true, "templateScope": "local",
"x": 340, "y": 940, "wires": [], {"id": "eb491ae5.ece328", "type": "ui_switch", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "label": "", "tooltip": "", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 19, "width": 6, "height": 2, "passthru": true, "decouple": "false", "topic": "", "style": "", "onvalue": "true", "onvalueType": "bool", "onicon": "fa-play fa-5x", "oncolor": "#1883ba", "offvalue": "false", "offvalueType": "bool", "officon": "fa-stop fa-5x", "offcolor": "#1883ba", "x": 510, "y": 900, "wires": [{"id": "444ce629.6fac08", "a7f281fa.fc17e"}], "info": "<i class=\"fa fa-check-square\" aria-hidden=\"true\"></i>"}, {"id": "9b31d3f4.a4ac1", "type": "inject", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "topic": "", "payload": "true", "payloadType": "bool", "repeat": "", "crontab": "", "once": true, "onceDelay": 0.1, "x": 350, "y": 860, "wires": [{"id": "eb491ae5.ece328"}]}, {"id": "94460743.9232c8", "type": "delay", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "pauseType": "delay", "timeout": 200, "timeoutUnits": "milliseconds", "rate": 1, "nbRateUnits": 1, "rateUnits": "second", "randomFirst": 1, "randomLast": 5, "randomUnits": "seconds", "drop": false, "x": 350, "y": 900, "wires": [{"id": "eb491ae5.ece328"}]}, {"id": "a7f281fa.fc17e", "type": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "var BOTON= msg.payload;\n\nif (BOTON == 0) {\n var data =\"data log stopped\";\n data={payload: data.toString();\n return data;\n }\n\nif (BOTON == 1) {\n var data1 =\"recording data\";\n data1={payload: data1.toString();\n return data1;\n }\n\n}", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 650, "y": 920, "wires": [{"id": "3e53399e.f64f46"}]}, {"id": "3e53399e.f64f46", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 17, "width": 6, "height": 1, "name": "estado-data", "label": "", "format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-center", "x": 790, "y": 920, "wires": []}, {"id": "4f5bb8d.00eff48", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 14, "width": 10, "height": 1, "name": "", "label": "", "format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-spread", "x": 690, "y": 1020, "wires": []}, {"id": "fa99c4f2.a90ec8", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 22, "width": 27, "height": 1, "name": "", "label": "", "format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-spread", "x": 930, "y": 1020, "wires": []}, {"id": "25340f11.18f5", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 16, "width": 7, "height": 3, "name": "", "label": "", "format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-spread", "x": 810, "y": 1020, "wires": []}, {"id": "8f6b780e.7ec2d8", "type": "ui_text", "z": "a4dece22.1de66", "group": "343f3f4a.da8d6", "order": 15, "width": 27, "height": 1, "name": "", "label": "", "format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-spread", "x": 210, "y": 1080, "wires": []}, {"id": "a2a8a527.70e038", "type": "ui_text", "z": "a4dec
```

```

e22.1de66", "group": "bbf07187.fd3dc", "order": 10, "width": 6, "height": 4, "name": "", "label": "",
"format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-
spread", "x": 330, "y": 1080, "wires": [], {"id": "9c524199.ae06a", "type": "ui_text", "z": "a4dece
22.1de66", "group": "bbf07187.fd3dc", "order": 7, "width": 6, "height": 4, "name": "", "label": "", "f
ormat": "{{msg.payload}}", "layout": "row-
spread", "x": 450, "y": 1080, "wires": [], {"id": "6396ba87.264b44", "type": "ui_text", "z": "a4dec
e22.1de66", "group": "bbf07187.fd3dc", "order": 6, "width": 27, "height": 1, "name": "", "label": "",
"format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-
spread", "x": 570, "y": 1080, "wires": [], {"id": "324ab79b.ea1c38", "type": "ui_text", "z": "a4dec
e22.1de66", "group": "bbf07187.fd3dc", "order": 2, "width": 6, "height": 4, "name": "", "label": "",
"format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-
spread", "x": 690, "y": 1080, "wires": [], {"id": "83fceb4.bf96c18", "type": "ui_text", "z": "a4dece
22.1de66", "group": "bbf07187.fd3dc", "order": 1, "width": 27, "height": 1, "name": "", "label": "",
"format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-
spread", "x": 810, "y": 1080, "wires": [], {"id": "cce641ed.5965b", "type": "ui_text", "z": "a4dece
22.1de66", "group": "bbf07187.fd3dc", "order": 5, "width": 6, "height": 4, "name": "", "label": "", "f
ormat": "{{msg.payload}}", "layout": "row-
spread", "x": 930, "y": 1080, "wires": [], {"id": "cf396085.f8af4", "type": "debug", "z": "a4dece22.
1de66", "name": "", "active": false, "tosidebar": true, "console": false, "tostatus": false, "comple
te": "payload", "targetType": "msg", "x": 430, "y": 260, "wires": [], {"id": "2d242a99.cce7e6", "ty
pe": "serial
in", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "serial": "89dfc226.0cd2e", "x": 190, "y": 160, "wires": [[
cf396085.f8af4", "f7e3ca2c.05fe98", "b7e9f8da.a50068"]], {"id": "f7e3ca2c.05fe98", "type
": "function", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "var output =
msg.payload.split('\\,\\');\n var hume1 = parseInt(output [0]); \nvar
valor1={payload:hume1};\n var hume2 = parseInt(output [1]); \nvar
valor2={payload:hume2};\nvar hume3 = parseInt(output [2]); \nvar
valor3={payload:hume3};\nvar hume4 = parseInt(output [3]); \nvar
valor4={payload:hume4};\nvar hume5 = parseInt(output [4]); \nvar
valor5={payload:hume5};\nvar hume6 = parseInt(output [5]); \nvar
valor6={payload:hume6};\nreturn
[valor1,valor2,valor3,valor4,valor5,valor6];\n\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 430, "y": 160, "wi
res": [[ "be91947b.b3d7e8", "15e3ecd7.edee23"]], {"id": "b7e9f8da.a50068", "type": "functi
on", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "func": "\nvar data=
msg.payload;\n\nflow.set('\n\data', data);
\n", "outputs": 1, "noerr": 0, "x": 430, "y": 60, "wires": [[]], {"id": "be91947b.b3d7e8", "type": "ui_c
hart", "z": "a4dece22.1de66", "name": "", "group": "", "order": 115, "width": 0, "height": 0, "label":
"chart", "chartType": "line", "legend": "false", "xformat": "HH:mm:ss", "interpolate": "linear", "n
odata": "", "dot": false, "ymin": "", "ymax": "", "removeOlder": 1, "removeOlderPoints": "", "remo
veOlderUnit": "1", "cutout": 0, "useOneColor": false, "colors": ["#1f77b4", "#aec7e8", "#ff7f0e"
, "#2ca02c", "#98df8a", "#d62728", "#ff9896", "#9467bd", "#c5b0d5"], "useOldStyle": false, "o
utputs": 1, "x": 630, "y": 220, "wires": [[]], {"id": "15e3ecd7.edee23", "type": "ui_text", "z": "a4de

```

```

ce22.1de66", "group": "b0325467.84fb68", "order": 1, "width": 27, "height": 1, "name": "", "label": "HUMEDAD", "format": "{{msg.payload}}", "layout": "row-spread", "x": 650, "y": 120, "wires": [], {"id": "89dfc226.0cd2e", "type": "serial-port", "z": "", "serialport": "/dev/ttyACM0", "serialbaud": "9600", "databits": "8", "parity": "none", "stopbits": "1", "waitfor": "", "newline": "\n", "bin": "false", "out": "char", "addchar": "", "responseTimeout": "10000"}, {"id": "343f3f4a.da8d6", "type": "ui_group", "z": "a4dece22.1de66", "name": "J", "tab": "8dc13532.38f638", "order": 1, "disp": false, "width": 27, "collapse": false}, {"id": "bbf07187.fd3dc", "type": "ui_group", "z": "", "name": "mcontrol", "tab": null, "order": 2, "disp": true, "width": 27, "collapse": false}, {"id": "b0325467.84fb68", "type": "ui_group", "z": "", "name": "MEDIDO", "tab": "7286790d.1e679", "order": 2, "disp": false, "width": 27, "collapse": false}, {"id": "8dc13532.38f638", "type": "ui_tab", "z": "a4dece22.1de66", "name": "EXPERIMENTO 2", "icon": "dashboard", "order": 6, "disabled": false, "hidden": false}, {"id": "7286790d.1e679", "type": "ui_tab", "z": "", "name": "EXPERIMENTO 1", "icon": "dashboard", "order": 5, "disabled": false, "hidden": false}]

```

ANEXO 9

Implementación de sensores para la identificación:



