



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN

**Dispositivo de riego inteligente de bajo costo para
el uso eficiente del agua**

NICOLÁS GASTÓN MATORANA BARRIOS

Profesor Guía: BENJAMÍN INGRAM

Memoria para optar al título de
Ingeniero Civil en Computación

Curicó – Chile
Diciembre, 2015



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN

**Dispositivo de riego inteligente de bajo costo para
el uso eficiente del agua**

NICOLÁS GASTÓN MATORANA BARRIOS

Profesor Guía: BENJAMÍN INGRAM

Profesor Informante: PROFESOR INFORMANTE 1

Profesor Informante: PROFESOR INFORMANTE 2

Memoria para optar al título de
Ingeniero Civil en Computación

El presente documento fue calificado con nota: _____

Curicó – Chile

Diciembre, 2015

Dedicado a ...

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a ...

TABLA DE CONTENIDOS

	página
Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Tabla de Contenidos	III
índice de Figuras	VI
índice de Tablas	VII
Resumen	VIII
1. Introducción	9
1.1. Descripción de la propuesta	9
1.1.1. Contexto del proyecto	9
1.1.2. Trabajo relacionado	10
1.1.3. Definición del problema	10
1.1.4. Propuesta de solución	11
1.2. Hipótesis	12
1.3. Objetivos	12
1.4. Alcances	13
1.5. Metodología	13
2. Marco teórico	15
2.1. Programación del riego	15
2.1.1. Textura del suelo	16
2.2. Servicios web meteorológicos	17
2.2.1. ¿Qué es un servicio web?	17
2.2.2. Wunderground	17
2.3. Trabajos relacionados	19
2.3.1. Cultivar	19
2.3.2. Rachio IRO	20

2.4. Hardware	21
2.4.1. Raspberry pi	21
2.4.2. Arduino	21
2.4.3. Servidor de base de datos	22
2.4.4. Servidor web	22
2.4.5. Sensores de humedad	22
2.4.6. Sensor de flujo de agua	23
2.4.7. Válvula solenoide	23
2.4.8. GPS	24
2.4.9. Módem 3G	24
2.4.10. Cargador	25
2.5. Software	25
2.5.1. Raspbian	25
2.5.2. Python	26
3. Análisis del problema	28
3.1. Descripción del problema	28
3.2. Problemas identificados	29
3.3. Información disponible	30
4. Desalloro	31
4.1. Hardware	31
4.1.1. Arduino	31
4.1.2. Raspberry	33
Glosario	35
Glosario	36
Bibliografía	37
Anexos	
A: El Primer Anexo	40
A.1. La primera sección del primer anexo	40
A.2. La segunda sección del primer anexo	40

A.2.1. La primera subsección de la segunda sección del primer anexo	40
B: El segundo Anexo	41
B.1. La primera sección del segundo anexo	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
2.1. Permeabilidad según textura del suelo	16
2.2. Arquitectura servicio web	17
2.3. Respuesta del servicio wunderground al hacer una consulta	19
2.4. Raspberry Pi modelo B+	21
2.5. Arduino	22
2.6. Sensor de humedad	23
2.7. Sensor de flujo de agua	23
2.8. Válvula solenoide	24
2.9. Módulo GPS USB	24
2.10. Módem 3G	25
2.11. Cargador	25
2.12. GPIO Raspberry Pi	26
2.13. Pines GPIO	27
4.1. Arduino en Raspberry	34
4.2. Comunicación Raspberry Arduino	35
4.3. Recibo de datos desde Arduino en Raspberry	36

ÍNDICE DE TABLAS

página

RESUMEN

Un riego eficaz sólo es posible con un seguimiento periódico de las condiciones del agua del suelo y con la previsión de las futuras necesidades de agua. Retrasar el riego provoca estrés, o aplicar muy poca agua puede resultar en una pérdida sustancial. La aplicación de mucha agua se traducirá en costos adicionales y agua desperdienciada.

Lo que se busca en este proyecto es aumentar la eficiencia en los recursos hídricos de la zona en la que el dispositivo esté instalado entregando información relevante, que permita disminuir costos y mantener las áreas verdes a pesar del actual cambio climático que vive el planeta.

Esto se puede lograr con un dispositivo de riego de bajo costo, de fácil instalación, que no necesite configuraciones, autónomo e inteligente, que permita monitorear y controlar el riego de los jardines o áreas verdes manteniéndolos en condiciones ideales de humedad con el fin de ayudar al crecimiento y desarrollo saludable del césped.

Se les ofrecerá a los usuarios monitorear y controlar el riego, entregándoles información que les puede ser de gran utilidad, como por ejemplo, el agua utilizada en un día, todo esto a través de una aplicación web y/o móvil.

1. Introducción

1.1. Descripción de la propuesta

1.1.1. Contexto del proyecto

El proyecto consiste en desarrollar un sistema de riego autónomo e inteligente ideal para el uso en áreas verdes que utilizan sistemas de riego como por ejemplo, por aspersión. Lo que se busca es reducir la intervención humana, aumentar la eficiencia en el uso del agua, ahorrar dinero y entregar datos estadísticos a los usuarios.

El sistema básicamente consta de sensores de humedad del suelo, un micro computador y válvulas. Cuando un sensor detecte que la humedad del suelo no es la adecuada para mantener el césped en buen estado, le envía una señal a la raspberry la que a su vez analiza datos meteorológicos y decide si es necesario o no hacer un riego. Con todo esto, se asegura que el jardín se encuentre en buen estado utilizando la menor cantidad de agua posible.

Para el proyecto se utiliza un micro computador el cual se programa en Python, y es el encargado de recibir los datos de entradas, que en este caso son los datos meteorológicos y los del sensor de humedad. Una vez que los datos son recibidos el micro computador los analiza y si se requiere un riego envía una señal la válvula solenoide que permitirá el paso del agua. También se utilizará un sensor de flujo para medir la cantidad de agua que se está utilizando y así entregar reportes al usuario.

Cabe destacar que este sistema no solo es útil para los jardines, sino que también se puede utilizar para los huertos y/o predios agrícolas que utilizan sistemas de riego automáticos.

1.1.2. Trabajo relacionado

Los trabajos que hoy en día son utilizados para resolver este problema cumplen su propósito general, que es el de automatizar el riego, pero en esta solución aun se requiere la intervención de las personas configurando su configuración, encendido o apagado cuando sea necesario, esto hace referencia a los sistemas que utilizan temporizadores [14]. Estos dispositivos se activan cada cierto intervalo de tiempo sin tomar en cuenta variables relevantes como lo son la humedad del suelo o incluso si al momento de regar esta lloviendo.

También existen trabajos en los que se mide la humedad del suelo [12] pero aun no se utiliza eficientemente el agua, ya que como se menciono anteriormente no toma en cuenta los datos meteorológicos y en caso que se aproxima una lluvia o este lloviendo el sistema igual regará.

Por otro lado tampoco indican el consumo de agua que se ha utilizado en el riego y tampoco tienen sistema de prevención en caso de condiciones climáticas extremas, como puede ser el frío extremo que nos ayuden a mantener en buen estado nuestro jardín.

Estos dispositivos se pueden encontrar en tiendas de Retail a costos elevados.

1.1.3. Definición del problema

Existen principalmente tres problemas que están asociados al consumo de los recursos hídricos para por decirlo de alguna forma uso agrícola.

Primero es la escasez de agua que existe hoy en día en gran parte de nuestro país, el año 2013 fue uno de los años más secos desde 1866. Existen déficit de precipitaciones [3] que van desde un 20 % llegando incluso hasta un 60 % entre las zonas de Copiapó y Talca al sur, estas son zonas de gran producción agrícola y además entre los lugares mencionados son los que han tenido mayor inversión para poder satisfacer la demanda de agua dulce a las personas, a esto le sumamos que este tipo de agua también es utilizada para el riego agrícola, lo que hace este recurso aún más escaso.

Segundo, se utilizan técnicas de riego pobres en la agricultura (riego áreas verdes), es por ello que es muy importante y de suma urgencia idear nuevas técnicas de riego sustentables en las que se obtenga el mayor provecho del agua sin afectar la calidad del riego.

Por último la falta de tecnologías innovadoras y baratas aplicadas al riego para

el uso doméstico.

1.1.4. Propuesta de solución

La solución al problema consiste en desarrollar un dispositivo de riego inteligente, automático, autónomo y de bajo costo que permita monitorear y controlar el riego de un jardín o área verde.

Este dispositivo consta principalmente de dos partes, la primera parte es el hardware que consiste en los sensores, válvulas, actuadores y microcomputador. La segunda parte es el software que tomará la información de los sensores y la información a través de internet con la que determinará cuándo y cómo aplicar los recursos hídricos al suelo.

Para el hardware se utilizarán piezas que se venden en el mercado y son de fácil acceso, por lo que no será un problema. Para el desarrollo del software, el caso ideal sería trabajar en conjunto con un Ingeniero Agrónomo experto en riego, pero en esta oportunidad no se hará así.

Cuando y como aplicar un riego es muy importante ya que de esta manera se está utilizando eficientemente el agua evitando escurrimiento, evaporación, salinización y otros problemas asociados al exceso de agua en el riego.

La conexión a internet se hará utilizando dispositivos 3G que tienen una amplia cobertura a través de todo el país gracias a la iniciativa del gobierno “Proyecto Bicentenario” que entrega acceso al 90 % de las localidades rurales.

El dispositivo al estar conectado a internet permitirá monitorear en línea la información que se recoge a través de los sensores, por ejemplo temperatura del lugar, humedad del suelo, cantidad de agua utilizada y además se podrá controlar el riego para el caso de los usuarios no agricultores.

Otro punto importante consiste en alarmas, que alertarán a los usuarios cuando existan condiciones desfavorables para el jardín como lo son las heladas en invierno, el dispositivo generará una alarma que permitirá tomar medidas de forma rápida y oportuna disminuyendo los daños que se puedan ocasionar.

Como se espera que esto funcione de forma autónoma y utilice eficientemente el agua, no se realizarán riegos cuando exista alguna probabilidad de lluvia, por ejemplo si se espera para mañana una lluvia y los sensores de humedad indican que es necesario regar, el sistema no regará ese día o regará utilizando menos agua, esta

es una característica que les será de mayor utilidad a los usuarios no agricultores ya que a ellos los que se quieren despreocupar totalmente del riego de áreas verdes.

Una variable que se considerará, distinguirá y hará diferente este dispositivo de otros existentes, es que al estar consciente de su ubicación actual podrá determinar el tipo de suelo en el que se encuentra, con esto se mejorará el impacto del riego en cada tipo de suelo, ya que permitirá saber la capacidad de absorción que éste tiene. Con esta información se podrá saber qué tipo de riego aplica mejor con el fin de utilizar el agua lo más inteligente y eficientemente posible.

1.2. Hipótesis

- El prototipo es realizable con la tecnología existente.
- Las personas se despreocuparán por el riego de su jardín.
- El uso de este sistema cuidará el jardín en todas las estaciones del año.
- La utilización del dispositivo de riego disminuirá el consumo de agua.

1.3. Objetivos

Objetivo general

- El objetivo es diseñar un dispositivo inteligente de bajo costo que será utilizado en los jardines para automatizar y monitorear el riego de un jardín o áreas verdes.

Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo del dispositivo (Hardware).
- Diseñar un modelo para el riego (Software).
- Diseñar un prototipo de aplicación web y/o móvil para los usuarios.
- Implementar un sistema de alertas para condiciones climáticas extremas.

1.4. Alcances

- El sistema de riego (cañerías, aspersores, etc.) debe estar previamente instalado.
- El modelo de riego será básico y se podrá mejorar con más tiempo y personas especializadas en riego.
- En el monitoreo los usuario podrán ver la humedad y la cantidad de agua utilizada en el riego.
- Se diseñará una aplicación web y/o móvil que permita a los usuarios visualizar la humedad del suelo y la cantidad de agua utilizada, y además tendrá la función de activar y desactivar el riego.

1.5. Metodología

Objetivo 1: “Diseñar un prototipo del dispositivo (Hardware)”

- Determinar las piezas necesarias para construir el dispositivo.
- Leer documentación de las piezas.
- Juntar todas las partes para formar el dispositivo.
- Probar el dispositivo armado.

Objetivo 2: “Diseñar un modelo para el riego (Software)”

- Determinar las variables que se utilizarán.
- Desarrollo del modelo (Desarrollo de software).
- Probar el modelo en el dispositivo.

Objetivo 3: “Diseñar un prototipo de aplicación web y/o móvil para los usuarios”

- Diseñar mockup de aplicación web y/o móvil.
- Desarrollo de la aplicación.
- Pruebas de la aplicación.

Objetivo 4: “Implementar un sistema de alertas para condiciones climáticas extremas”

- Determinar y analizar las variables que son utilizadas para predecir una helada.
- Implementar un sistema de notificación para los usuarios.

2. Marco teórico

2.1. Programación del riego

La programación del riego, es la planificación de cuándo y qué cantidad de agua aplicar con el fin de mantener el crecimiento saludable de las plantas durante la estación de crecimiento. Es una práctica de gestión diaria esencial.

El momento adecuado del riego es una decisión crucial para la aplicación:

- Satisfacer las necesidades de agua del cultivo para evitar la pérdida de rendimiento debido a la escasez de agua.
- Maximizar la eficiencia del uso del agua de riego y conservar los recursos hídricos locales.

Un riego eficaz sólo es posible con un seguimiento periódico de las condiciones del agua del suelo y el desarrollo de lo que se está cuidando (campos de cultivos o jardines) y con la previsión de las futuras necesidades de agua. Retrasar el riego hasta provoca estrés, o aplicar muy poca agua puede resultar en una pérdida sustancial. La aplicación de mucha agua se traducirá en costes adicionales y agua desperdiciada.

Existen varias herramientas que están disponibles para ayudar a un administrador el riego: sondas de suelo, sensores de humedad del suelo, estaciones meteorológicas, etc.

Para la programación del riego se utilizarán sensores de humedad del suelo y datos obtenidos de alguna estación meteorológica que entregará la probabilidad de lluvia en el lugar, cuando sea posible y a causa de que existe probabilidad de lluvia, la cantidad de agua de riego aplicada debe ser algo menor que el déficit de agua en el suelo con el fin de proporcionar el resto con la lluvia que caerá en el lugar.

Otra variable que se tendrá en cuenta, es el tipo de suelo en el que se encuentra ubicado el sistema de riego, ya que permitirá saber la capacidad de absorción que éste tiene, con el conocimiento de esta información se podrá saber cuándo comenzar un riego con el fin de utilizar el agua de forma eficiente.

2.1.1. Textura del suelo

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

Para conocer la textura de una muestra de suelo [5]:

- Arcilloso: Se adhiere bastante, es fácilmente moldeable, las partículas no son visibles y la superficie brilla levemente.
- Limoso: Se adhiere a los dedos, se moldea con dificultad, los dedos dan apariencia grasosa y las partículas son brillantes.
- Arenoso: No se pega en los dedos, no se moldea como una masa y sus partículas individuales son visibles.

Cada uno de estos tipos de suelos presentan una propiedad llamada permeabilidad; que es la característica que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse a la hora de realizar un riego. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

Por regla general, como se muestra en la Figura 2.1, mientras más fina sea la textura del suelo, más lenta será la permeabilidad:

Suelo	Textura	Permeabilidad
Suelos arcillosos	Fina	De muy lenta a muy rápida
Suelos limosos	Moderadamente fina Moderadamente gruesa	
Suelos arenosos	Gruesa	

Figura 2.1: Permeabilidad según textura del suelo

2.2. Servicios web meteorológicos

2.2.1. ¿Qué es un servicio web?

Los servicios web son sistemas de software que permiten el intercambio de datos y funcionalidad entre aplicaciones sobre una red. Están soportados en diferentes estándares que garantizan la interoperabilidad de los servicios [10].

En la Figura 2.2, se puede apreciar la arquitectura de un servicio web, se ve que el cliente realiza una petición al servidor y éste le envía una respuesta con lo solicitado.

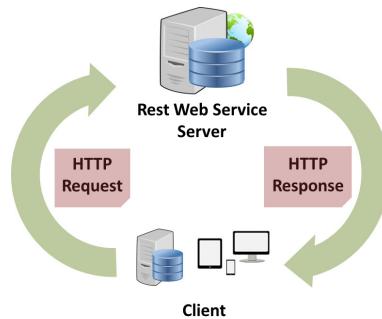


Figura 2.2: Arquitectura servicio web

Un servicio web REST, es un servicio implementado usando HTTP y que entrega como resultado un XML o un JSON de los cuales se puede obtener la información solicitada.

2.2.2. Wunderground

Weather Underground es un servicio que entrega información meteorológica que ha desafiado las convenciones en torno a cómo la información del tiempo se comparte con el público desde 1993. Se ha creado con el fin de mejorar el acceso de las personas a los datos meteorológicos significativos de todo el mundo. Como servicio meteorológico primero de Internet, son considerados pioneros en su campo y están en constante búsqueda de nuevos conjuntos de datos y tecnologías que ayuden a compartir más datos con más gente.

Wunderground no da la posibilidad de consultar el clima dado las coordenadas de la posición en la que un punto se encuentra, estas coordenadas pueden ser obtenidas de forma automática utilizando un GPS o ingresándolas manualmente. Para utilizar

el servicio, es necesario registrarse para obtener un llave que se utiliza para realizar las consultas meteorológicas.

Para obtener más información y/o registrarse para utilizar el servicio se puede hacer en la siguiente url:

<http://www.wunderground.com/weather/api/d/docs?d=index>

La estructura de la url para realizar la consulta de la siguiente:

<http://api.wunderground.com/api/e7d949410a7481dc/forecast10day/lang:SP/q/-34.40819094134256,-71.00087251514196.json>

- <http://api.wunderground.com/api/> es la dirección donde se hace la consulta.
- e7d949410a7481dc es la llave que se obtiene al registrarse.
- forecast10day retorna datos meteorológicos de los siguientes 10 días.
- lang:SP se utiliza para obtener los datos en español.
- q/-34.40819094134256,-71.00087251514196 son las coordenadas del lugar que se quieren obtener los datos.
- .json es el formato en el que se devuelve la información, también puede ser .xml.

Los datos obtenidos se pueden apreciar en la Figura 2.3:

```

    "period":0,
    "icon":"partlycloudy",
    "icon_url":"http://icons.wxug.com/i/c/k/partlycloudy.gif",
    "title":"Sábado",
    "fcttext":"Cielo parcialmente cubierto. Máxima de 61 F. Viento",
    "fcttext_metric":"Cielo parcialmente cubierto. Máxima de 16 C.",
    "pop":"0"
}
,
{
    "period":1,
    "icon":"nt_clear",
    "icon_url":"http://icons.wxug.com/i/c/k/nt_clear.gif",
    "title":"Noche del sábado",
    "fcttext":"Cielo mayormente despejado. Mínima de 40 F. Vientos",
    "fcttext_metric":"Cielo mayormente despejado. Mínima de 4 C. V",
    "pop":"0"
}

```

Figura 2.3: Respuesta del servicio wunderground al hacer una consulta

De toda la información que entrega el servicio web wunderground, lo único que nos interesa hasta el momento, es el campo pop, que significa probabilidad de precipitación, que esta representada en porcentaje.

2.3. Trabajos relacionados

2.3.1. Cultivar

Cultivar está desarrollando y fabricando por Raincloud [2]. Raincloud administra de forma conveniente e inteligente la gestión del agua, con un sistema de riego conectado a la web que permite monitorear en todo momento es estado del sistema. Raincloud vincula los dispositivos móviles permitiendo activar válvulas de agua y consultar sensores de humedad utilizando Wi-Fi.

Ventajas:

- Utiliza sensores de humedad de suelo.
- Se controla a través de un teléfono móvil.
- Consume la menor cantidad de agua posible.
- Almacena los datos en la nube.

- Entrega estadísticas del consumo de agua.

Desventajas:

- Necesita configuración previa.
- Se necesita Wi-Fi en el hogar para su óptimo funcionamiento.
- Tiene un costo muy elevado. \$500 dolares.
- No toma en cuenta datos meteorológicos.

2.3.2. Rachio IRO

Iro [15] es un controlador de riego inteligente que permite a las personas de manera fácil, mantener sus jardines en buen estado. Se integra de manera fácil al Wi-Fi de su hogar, entregando un completo control a través de su computador o teléfono móvil.

Rachio se ajusta automáticamente a los datos meteorológicos del lugar en el que se encuentra, estación del año, tipo de zona y características de la región.

Ventajas:

- Se controla a través de un teléfono móvil o una computador.
- Puede funcionar de forma automática.
- Se ajustara automáticamente a el clima.
- Consume la menor cantidad de agua posible.
- No necesita programarse.
- Entrega estadísticas del consumo de agua.

Desventajas:

- No utiliza sensores de humedad de suelo.
- Se necesita Wi-Fi en el hogar para su óptimo funcionamiento.
- Tiene un costo muy elevado. \$249 / \$299 dolares.

2.4. Hardware

Todas las partes físicas de un sistema que tiene componentes: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos. Para la construcción del sistema de riego se necesitarán una serie de componentes, sensores, actuadores y computadores para su correcto funcionamiento.

2.4.1. Raspberry pi

El Raspberry Pi [8] es un microcomputador del tamaño de una tarjeta de crédito a bajo costo que se conecta a un monitor o un televisor, utiliza un teclado y un ratón estándar. Es un dispositivo que permite a las personas de todas las edades explorar la computación y aprender a programar en lenguajes como Python. Es capaz de hacer todo lo que espera de una computadora de escritorio, desde navegar por Internet y reproducir videos en alta definición, trabajar en hojas de cálculo, procesadores de texto, y jugar juegos.

Raspberry Pi tiene la capacidad de interactuar con el mundo exterior, y se ha utilizado en una amplia gama de proyectos digitales, máquinas de música y detectores en las estaciones meteorológicas.



Figura 2.4: Raspberry Pi modelo B+

2.4.2. Arduino

Arduino [1] es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos.



Figura 2.5: Arduino

2.4.3. Servidor de base de datos

Un servidor de bases de datos se utiliza para almacenar, recuperar y administrar los datos de una base de datos. El servidor gestiona las actualizaciones de datos, permite el acceso simultáneo de muchos servidores o usuarios web y garantiza la seguridad y la integridad de los datos. Y cuando hablamos de datos, podemos estar hablando sobre millones de elementos a los que acceden al mismo tiempo miles de usuarios.

Así como sus funciones básicas, el software de servidores de bases de datos ofrece herramientas para facilitar y acelerar la administración de bases de datos. Algunas funciones son la exportación de datos, la configuración del acceso de los usuarios y el respaldo de datos.

2.4.4. Servidor web

Básicamente, un servidor web sirve contenido estático a un navegador, carga un archivo y lo sirve a través de la red al navegador de un usuario. Este intercambio es mediado por el navegador y el servidor que hablan el uno con el otro mediante HTTP.

2.4.5. Sensores de humedad

Un sensor de resistencia eléctrica [16], estima indirectamente la tensión del suelo mediante la medición de la resistencia eléctrica utilizando alambre que va en un bloque de un material especial que mantiene su contenido de humedad en equilibrio con el suelo. La resistencia eléctrica dentro del bloque varía con el contenido de agua del suelo. Estos requieren poca preparación antes de la instalación y no requieren mantenimiento durante la temporada.

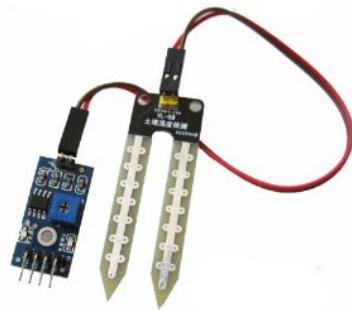


Figura 2.6: Sensor de humedad

2.4.6. Sensor de flujo de agua

El sensor de flujo de agua consiste en una válvula de cuerpo plástico, un rotor de agua y un sensor de efecto hall. Cuando el agua fluye a través del rotor, el rotor gira. Su velocidad cambia con diferentes ritmos de flujo. El sensor de efecto hall tiene como salida la señal de pulso correspondiente.



Figura 2.7: Sensor de flujo de agua

2.4.7. Válvula solenoide

Una válvula solenoide esta diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.



Figura 2.8: Válvula solenoide

2.4.8. GPS

GPS [13] es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día. Para la obtención de coordenadas el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias a cuatro satélites (como mínimo) de coordenadas conocidas. Estas distancias se obtienen a partir de las señales emitidas por los satélites, las que son recibidas por receptores especialmente diseñados. Las coordenadas de los satélites son provistas al receptor por el sistema.



Figura 2.9: Módulo GPS USB

2.4.9. Módem 3G

Módem 3G es un terminal de red inalámbrica basada en la tecnología CDMA2000. Es la mejor opción para los usuarios que necesiten acceder a Internet desde cualquier lugar en cualquier momento. El módem está conectado al micro computador mediante una interfaz USB.



Figura 2.10: Módem 3G

2.4.10. Cargador

Un cargador es un dispositivo utilizado para suministrar corriente eléctrica a un dispositivo, que en este caso se tratará de la Raspberry Pi. El cargador debe funcionar a 5V y entregar una corriente de 700mA.



Figura 2.11: Cargador

2.5. Software

2.5.1. Raspbian

Raspbian [7] es un sistema operativo libre basado en Debían optimizado para el hardware Raspberry Pi. Un sistema operativo es el conjunto de programas básicos y utilidades que hacen que Raspberry Pi funcione. Sin embargo, Raspbian ofrece más que un sistema operativo; viene con más de 35.000 paquetes, software pre-compilado en un formato que hace más fácil la instalación en su Raspberry Pi.

Raspbian no tiene relación con la Fundación Raspberry Pi. Raspbian fue creado por un pequeño y dedicado equipo de desarrolladores que son fans del hardware Raspberry Pi.

Instalador: "<https://www.raspbian.org/RaspbianInstaller>"

2.5.2. Python

Python es un claro y poderoso lenguaje de programación orientado a objetos, comparable con Perl, Ruby o Java.

Algunas de las características de Python son:

- Python ideal para el desarrollo de prototipos y otras tareas de programación, sin comprometer la capacidad de mantenimiento.
- Utiliza una sintaxis clara, por lo que los programas son fáciles de leer.
- Viene con una biblioteca estándar que soporta muchas tareas comunes de programación, tales como la conexión a los servidores web, la búsqueda de texto con expresiones regulares, leer y modificar archivos.
- Es software libre. No cuesta nada descargar o utilizar Python.
- Tiene librerías que facilitan el uso de la interfaz GPIO de la Raspberry Pi.

<https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide/Overview>

Librería GPIO

Una de las características de gran alcance de la Raspberry Pi es la fila de GPIO [6] (Entrada/Salida de Propósito General) alfileres a lo largo del borde de la placa, junto a la salida de vídeo socket amarilla como se puede apreciar en la Figura 2.12:



Figura 2.12: GPIO Raspberry Pi

Estos pines son una interfaz física entre el la Raspberry y el mundo exterior. Al nivel más simple, se puede pensar en ellos como interruptores que puede activar o desactivar ya sean las entradas como las salidas. Diecisiete de los veinte y seis pines

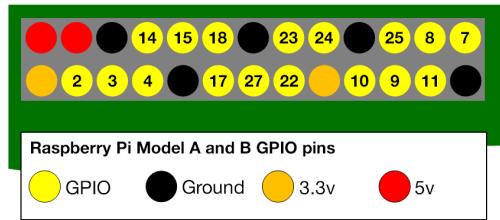


Figura 2.13: Pines GPIO

son GPIO; los otros son pines de alimentación o de tierra como se ve en la Figura 2.13:

¿Qué puedo hacer con esto?

Puede programar los pines de maneras asombrosas para interactuar con el mundo real. Las entradas no tienen que venir de un interruptor físico; podría ser la entrada de un sensor o una señal de otro ordenador o dispositivo, por ejemplo. La salida también puede hacer cualquier cosa, desde encender un LED con el envío de una señal o de datos a otro dispositivo. Si la Raspberry está en una red, puede controlar los dispositivos que están conectados a él desde cualquier lugar. Conectividad y control de los dispositivos físicos a través de Internet es algo muy poderoso y emocionante, y la Raspberry es ideal para esto.

3. Análisis del problema

El presente capítulo tiene por objetivo dar a conocer la problemática existente relacionada a la mantención de césped, mencionando también los métodos utilizados, los problemas que estos tienen y mostrar un prototipo de como solucionar uno los problemas que se mencionarán.

3.1. Descripción del problema

La mantención de jardines y áreas verdes es una actividad muy común hoy en día en Chile, más aún cuando existen propuestas del propio estado de Chile por promover esta iniciativa, aumentando la inversión y ampliando cada vez más los parques en diferentes comunas de Chile.

Estas áreas verdes no requieren de mucho cuidado, principalmente se necesita cortar y regar el césped que es en la actividad que estamos enfocados, entonces ¿Cómo se riega el césped hoy en día en nuestro país? principalmente se utilizan dos métodos:

- Riego manual: la persona encargada del riego, riega hasta que considere que el césped se encuentra lo suficientemente húmedo.
- Riego por aspersores: generalmente funcionan automáticamente todos los días durante un periodo de tiempo determinado.

Ambos métodos utilizan en exceso el agua, además a esto le sumamos que por lo general se utiliza agua potable, se traduce en un gran desperdicio y más aún cuando existe escasez de agua en el país.

El año 2013 fue uno de los años más secos desde 1866. Existen déficit de precipitaciones que van desde un 20 % llegando incluso hasta un 60 % entre las zonas de Copiapó y Talca al sur, estas son zonas de gran producción agrícola y además entre los lugares mencionados son los que han tenido mayor inversión para poder satisfacer la demanda de agua dulce a las personas [4].

Los dispositivos utilizados hoy en día no consideran el tipo de suelo en el cual se realizará el riego, esto es importante porque cada suelo tiene una capacidad de absorción distinta. Esta información es importante porque al no aplicar la cantidad justa de agua, se daña el suelo como por ejemplo la erosión [11], además del agua desperdiciada.

Es por ello, que es muy importante y de suma urgencia idear nuevas técnicas de riego sustentables en las que se obtenga el mayor provecho del agua que permita mantener el nivel de producción agrícola en Chile o incluso aumentarlo.

3.2. Problemas identificados

Según Chuck Ingels [9], asesor agrícola de Extensión Cooperativa de la Universidad de California en el condado de Sacramento y Loren Oki, especialista de Extensión Cooperativa en el Departamento de Botánica de UC Davis y especialista en horticultura de paisajes, existen problemas en los sistemas de riego actuales que hoy en día son utilizados, ellos nombran principalmente cuatro problemas:

- “Apagar el sistema de riego por aspersores después de que llueve es el primer paso que se debe tomar para ahorrar agua”
- “El riego de césped y jardines representa más de la mitad del agua usada en un hogar promedio”
- “Ha llevado a cabo estudios sobre un problema común relacionado al riego de céspedes residenciales en California: el escurreimiento de agua”
- “Mucha del agua que se aplica a los céspedes termina directamente en las alcantarillas. No solo se trata de agua desperdiciada; hemos descubierto también que el agua de escurreimientos arrastra contaminantes (incluyendo pesticidas y fertilizantes) hasta las alcantarillas y, eventualmente, a los canales y vías fluviales. El problema radica en que los sistemas de aspersores típicos aplican

agua de forma más rápida que la que la tierra puede absorber, lo cual lleva al escurrimiento”

3.3. Información disponible

Para los problemas anteriormente mencionados existe información que será utilizado para planificar y determinar un riego, los podemos ver a continuación:

- Pronóstico del tiempo: será utilizado para saber la probabilidad de lluvia en la zona en la que se encuentra el dispositivo.
- Tipo de suelo: indica el tipo de suelo en el que el dispositivo será utilizado.
- Humedad del suelo: indica la humedad del suelo utilizando sensores de humedad.

Existe más información que puede ser incluida para mejorar la calidad del riego aplicado al suelo, pero para en este trabajo solo se considera las variables antes mencionadas.

4. Desalloro

En este capítulo se mostrarán los pasos necesarios para construir y hacer funcionar el dispositivo de riego. Primero veremos todo lo relacionado con el hardware juntando todas las partes, luego se trabajará en el desarrollo del modelo que corresponde a la parte de software del dispositivo. También se mostrará un algo breve del desarrollo de la aplicación web y finalmente veremos las variables necesarias para determinar un helada y como se hará para notificar a los usuarios.

4.1. Hardware

Raspberry es una plataforma muy útil para el desarrollo de aplicaciones domóticas y de control. Sin embargo. Raspberry tiene una limitación en cuanto a entradas/salidas disponibles y no puede trabajar con modulación por ancho de pulsos.

Una solución a este problema puede ser utilizar un Beaglebone black o se puede combinar el Raspberry con Arduino y dejar todo el control de hardware al Arduino y solo utilizar la Raspberry como controlador. En esta sección se mostrará como conectar la Raspberry con un Arduino a través de USB a través de comunicación serie.

4.1.1. Arduino

Programación Arduino

Lo primero que se hará es crear un programa para Arduino que leerá la información de un sensor de humedad y la información que envía un sensor de flujo utilizando el puerto serie del Arduino. El programa que utilizamos se muestra a continuación, para ello se debe instalar el IDE de Arduino desde el siguiente enlace:

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Instalado el programa, conectar al Arduino a la computadora, ejecutar el programa y ya se está listo para trabajar.

A continuación se mostrará el código con el cual se puede leer información desde distintos tipos de sensores.

Declaración de variables:

```
volatile int frecuencia_sensor; // Mide los pulsos de flujo  
unsigned int litrosHora; // Calcula los litros por hora  
unsigned int humedad_sensor; // Mide la humedad del suelo  
unsigned char pinFlujo = 2; // Pin de flujo (Pin 2)  
unsigned char pinHumedad = A0; // Pin de humedad (Pin A0)  
unsigned long tiempoActual;  
unsigned long tiempoCiclo;
```

Función setup:

```
void setup(){  
pinMode(pinFlujo, INPUT); // pinFlujo se declara como entrada  
Serial.begin(9600); // Permite la comunicación con la Raspberry  
attachInterrupt(0, flujo, RISING); // Setup Interrupt  
sei(); // Enable interrupts  
tiempoActual = millis();  
tiempoCiclo = tiempoActual;  
}
```

Función loop:

```
void loop() {  
humedad_sensor = analogRead(pinHumedad); // Entrada analógica  
Serial.print(humedad_sensor); // Envía el valor a la Raspberry  
Serial.println("Humedad"); // Parámetro opcional  
tiempoActual = millis(); //Mide el tiempo actual
```

```

//Cada segundo, calcula e imprime litros por hora
if(tiempoActual != (tiempoCiclo + 1000)){
    litrosHora = (frecuencia_sensor * 60 / 7.5); // Formula litro por hora
    frecuencia_sensor = 0; // Resetea el contador
    Serial.print(litrosHora); // Envío a Raspberry litro por hora
    Serial.println("L/hour"); // Envío parámetro opcional
}
}

```

Una vez escrito el código en el IDE, se verifica y se sube al Arduino. Es importante destacar que para enviar información a las Raspberry se utiliza la linea de código `Serial.println("mensaje")`.

Conexión de sensores

Los sensores que se utilizarán son de humedad e suelo y flujo de agua.

4.1.2. Raspberry

Para configurar la Raspberry lo primero que hay que hacer es instalar las librerías para el control del puerto serie desde Python. Para hacer esto ejecutamos el siguiente comando desde la consola en nuestra Raspberry:

```
sudo apt-get install python-serial
```

Con esto instalado ya esta lista la Raspberry para comunicarse al Arduino utilizando el puerto serie. Lo hay que determinar es que puerto utiliza el Arduino cuando esta conectado al Raspberry. Para saber el puerto primero se conecta el Arduino a la Raspberry por USB y luego se ejecuta el siguiente comando:

```
ls /dev/tty*
```

Una vez ejecutado el comando se verá un listado de diferentes dispositivos. El Arduino en este caso aparece en el último lugar llamado `/dev/ttyUSB0` como se ve en la Figura 4.1:

Una vez que el Arduino esta identificado ya podemos comenzar a comunicarnos mediante un programa en Python. En este caso se mostrará un ejemplo de como recibir la información en la Raspberry enviada desde el Arduino, en la Figura 4.2 se puede ver el código utilizado.



```
pi@raspberrypi: ~/Desktop
pi@raspberrypi ~/Desktop $ ls /dev/tty*
/dev/tty   /dev/tty20  /dev/tty33  /dev/tty46  /dev/tty59
/dev/tty0  /dev/tty21  /dev/tty34  /dev/tty47  /dev/tty6
/dev/tty1  /dev/tty22  /dev/tty35  /dev/tty48  /dev/tty60
/dev/tty10 /dev/tty23  /dev/tty36  /dev/tty49  /dev/tty61
/dev/tty11 /dev/tty24  /dev/tty37  /dev/tty5   /dev/tty62
/dev/tty12 /dev/tty25  /dev/tty38  /dev/tty50  /dev/tty63
/dev/tty13 /dev/tty26  /dev/tty39  /dev/tty51  /dev/tty7
/dev/tty14 /dev/tty27  /dev/tty4   /dev/tty52  /dev/tty8
/dev/tty15 /dev/tty28  /dev/tty40  /dev/tty53  /dev/tty9
/dev/tty16 /dev/tty29  /dev/tty41  /dev/tty54  /dev/ttyAMA0
/dev/tty17 /dev/tty3   /dev/tty42  /dev/tty55  /dev/ttprintfk
/dev/tty18 /dev/tty30  /dev/tty43  /dev/tty56  /dev/ttyUSB0
/dev/tty19 /dev/tty31  /dev/tty44  /dev/tty57
/dev/tty2  /dev/tty32  /dev/tty45  /dev/tty58
pi@raspberrypi ~/Desktop $
```

Figura 4.1: Arduino en Raspberry

Con este programa en Python ya se puede recibir datos desde el Arduino en la Raspberry, para probarlo se ejecuta el programa con la siguiente linea de código *sudo python nombre_programa.py* y se pueden ver los resultados obtenido en la Figura 4.3

```
pi@raspberrypi: ~/Desktop
GNU nano 2.2.6           File: arduino.py

from serial import Serial
ardu = Serial('/dev/ttyUSB0', 9600, timeout=1)
while True:
    try:
        a = ardu.readline()
        print a
    except KeyboardInterrupt:
        break
ardu.close()
```

^G Get Help ^O WriteOut ^R Read File ^Y Prev Page ^K Cut Text ^C Cur Pos
^X Exit ^J Justify ^W Where Is ^V Next Page ^U UnCut Tex ^T To Spell

Figura 4.2: Comunicación Raspberry Arduino

Glosario

El primer término: Este es el significado del primer término, realmente no se bien lo que significa pero podría haberlo averiguado si hubiese tenido un poco mas de tiempo.

El segundo término: Este si se lo que significa pero me da lata escribirlo...



```
pi@raspberrypi: ~/Desktop
pi@raspberrypi ~/Desktop $ sudo python arduino.py
0 L/hour
1023 Humedad
1023 Humedad
1424 L/hour
1023 Humedad
112 L/hour
1023 Humedad
```

Figura 4.3: Recibo de datos desde Arduino en Raspberry

Glosario

El primer término: Este es el significado del primer término, realmente no se bien lo que significa pero podría haberlo averiguado si hubiese tenido un poco mas de tiempo.

El segundo término: Este si se lo que significa pero me da lata escribirlo...

Bibliografía

- [1] Arduino.cl. ¿que es arduino? <http://arduino.cl/que-es-arduino/>, 2011. Ultimo acceso: 21-09-2015.
- [2] Cultivar. Raincloud project. <http://ecultivar.com/rain-cloud-product-project/>. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [3] Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios. Informe de gestion de la sequia 2014. <http://www.andess.cl/descargas/noticias/201401-INFORME-GREMIAL-SEQUIA-ANDESS-ENERO-2014.pdf>, 2013. Ultimo acceso: 21-09-2015.
- [4] Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios. Informe de gestion de la sequia 2014 industria sanitaria en chile. <http://www.andess.cl/descargas/noticias/201401-INFORME-GREMIAL-SEQUIA-ANDESS-ENERO-2014.pdf>, 2013. Ultimo acceso: 23-06-2015.
- [5] L. Rucks-F. GarcÃa-A. KaplÃn-J. Ponce de León-M. Hill. Propiedades fÃsicas del sueloweb. <http://www.fagro.edu.uy/edafologia/curso/Material/fisicas.pdf>, Facultad de AgronomÃa Universidad de la RepÃblica, 2004. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [6] Raspberry Pi Foundation. Gpio. <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>, University of Minnesota. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [7] Raspberry Pi Foundation. Raspbian. <https://www.raspbian.org/>. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [8] Raspberry Pi Fundation. What is a raspberry pi? <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>. Ultimo acceso: 23-05-2015.

- [9] Myriam Grajales-Hall. Ahorremos agua usando estrategias probadas de riego para jardines. <http://ucanr.edu/sites/Spanish/Noticias/?uid=5813&ds=199>, Extensión Cooperativa de la Universidad de California, 2014. Ultimo acceso: 30-06-2015.
- [10] Carlos Andres Morales Machuca. Estado del arte: Servicios web. <http://www.bivica.org/upload/doc1.pdf>, Universidad Nacional de Colombia, 2011. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [11] Roberto Michelena. Erosión hídrica. <http://inta.gob.ar/documentos/erosion-hidrica>, Universidad Nacional de La Rioja, 2011. Ultimo acceso: 23-08-2015.
- [12] Rafael Muñoz-Carpena and Michael D. Dukes. Automatic irrigation based on soil moisture for vegetable crops. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/ae/ae35400.pdf>, Department of Agricultural and Biological Engineering, UF/IFAS Extension, 2005. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [13] Eduardo Huerta Aldo Mangiaterra Gustavo Noguera. Gps posicionamiento satelital. http://www.cartografia.cl/download/libro_gps.pdf, Universidad Nacional de Rosario, 2005. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [14] Marco Antonio Bello Maria Teresa Pinto. Programadores de riego. <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25634.pdf>, Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura, 2000. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [15] Rachio. Rachio iro. <https://rachio.com/>. Ultimo acceso: 23-05-2015.
- [16] Jerry Wright. Irrigation water management considerations for sandy soils in minnesota. <http://www.extension.umn.edu/agriculture/water/irrigation-water-management-considerations/>, University of Minnesota, 2008. Ultimo acceso: 23-05-2015.

ANEXOS

A. El Primer Anexo

Aquí va el texto del primer anexo...

A.1. La primera sección del primer anexo

Aquí va el texto de la primera sección del primer anexo...

A.2. La segunda sección del primer anexo

Aquí va el texto de la segunda sección del primer anexo...

A.2.1. La primera subsección de la segunda sección del primer anexo

B. El segundo Anexo

Aquí va el texto del segundo anexo...

B.1. La primera sección del segundo anexo

Aquí va el texto de la primera sección del segundo anexo...