



## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	4
1. OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	5
2. ANTECEDENTES.....	6
3. SITUACIÓN DE PARTIDA.....	7
3.1 Localización del jardín.....	7
3.2 Suelo .....	8
3.3 Especies herbáceas presentes en el jardín central. ....	8
3.4 Riego actual.....	9
3.4.1 Ensayo de campo del riego actual.....	10
3.4.2 Coeficiente de uniformidad .....	10
3.4.3 Calendario de riegos.....	10
3.4.4 Calidad del agua: .....	11
4. MEDIDA Y REGISTRO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD .....	12
4.1 Sensores de humedad.....	12
4.2 Procesador de datos .....	14
4.3 Puntos de control.....	14
5. ESTUDIO AGRONÓMICO DEL JARDÍN.....	17
5.1 Selección de especies vegetales de la pradera.....	17
5.2 Necesidades hídricas .....	17
6. DISPONIBILIDAD DEL AGUA .....	18
6.1 Movimiento del agua en el suelo .....	18
6.2 Estados hídricos del suelo.....	18
7. SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO .....	21
7.1 Estado de los dispositivos del jardín.....	21
7.2 Estudio del contenido de agua en profundidad.....	21
8. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO DURANTE EL RIEGO Y EL PERÍODO ENTRE RIEGOS.....	22
8.1 Determinación de los estados hídricos .....	22
8.2 Contenido de agua en profundidad.....	23

9. SISTEMA DE RIEGO .....	24
9.1 Elección del método de riego.....	24
9.2 Elementos del sistema de riego e instalación .....	24
9.2.1 Instalación .....	24
10. DISEÑO DE LA RED HIDRÁULICA.....	25
11. CÁLCULO HIDRÁULICO DE TUBERÍA PORTA-ASPERSORES .....	26
12. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS.....	28
12.1 Dosis, frecuencia y tiempo de riego.....	28
13. CALENDARIO DE EJECUCIÓN.....	29
14. PROPUESTA DE MEJORA SOSTENIBLE.....	30
15. BIBLIOGRAFÍA.....	32

Figura 1 Jardín central de la ETSIAAB.....	7
Figura 2.1 Lolium perenne.....	9
Figura 2.2 Festuca arundinaceae .....	9
Figura 3 Sensor 10HS 2 varillas. Fuente <a href="http://www.lab-ferrer.com">www.lab-ferrer.com</a> .....	12
Figura 4 Sensor tres varillas Fuente <a href="http://www.lab-ferrer.com">www.lab-ferrer.com</a> .....	12
Figura 5 Disposición de los sensores en el suelo. Fuente Lab Ferrer. ....	13
Figura 6 Datalogger del jardín. Fuente <a href="http://www.lab-ferrer.com">www.lab-ferrer.com</a> .....	14
Figura 7 Punto de control en el jardín. ....	15
Figura 8 Localización de los puntos de control del jardín.....	15
Figura 9 Pluviómetro utilizado para el estudio. Fuente: <a href="http://lab-ferrer.com">lab-ferrer.com</a> .....	16
Figura 10 Efecto de las diferentes especies en el estado de la pradera.....	17
Figura 11 Momento de volver a regar. Fuente elaboración propia.....	19

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Contenido volumétrico de humedad en los distintos estados hídricos del suelo.....	22
-------------------------------------------------------------------------------------------	----

## 1. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El trabajo busca el rediseño de una red de riego para un jardín, a partir del conocimiento de la situación actual marcándose los siguientes objetivos.

- Evaluación del movimiento del agua en el suelo, su redistribución y de los aportes y pérdidas de agua, a partir de la colocación de 3 sensores de humedad a distintas profundidades 15 (P1), 25 (P2) y 40(P3) cm que registran los datos cada 15 minutos y son almacenados para ser visualizados “on-line” a tiempo real.
- Programación de riegos atendiendo al estado hídrico del suelo, manteniendo un nivel de humedad para las plantas que permita un nivel óptimo de desarrollo favoreciendo la imagen estética del jardín, adecuando las dosis, para que no se efectúen riegos en exceso ni deficitarios.
- Diseño de una red de riego para el jardín, adecuada para satisfacer las necesidades hídricas que sean requeridas por las especies sembradas en él.
- Buscar estrategias de riego que promuevan la sostenibilidad

## 2. ANTECEDENTES

La documentación existente referente al estudio del jardín de la ETSIAAB, así como al detalle de los elementos presentes actualmente en la instalación de riego que compone la red de riego son los siguientes.

TFM “PROGRAMACIÓN DE LOS RIEGOS EN LOS JARDINES DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS DE MADRID” (María Eugenia Molera de Ávila Calderón, julio 2012)

TFM “ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE RIEGO DE LOS JARDINES DE LA ETSIA de MADRID” (Gonzalo Amaro Blanco, julio 2012)

TFM “EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LOS SECTORES DE RIEGO DE LOS JARDINES DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS DE MADRID” (Ignacio Amaro Blanco, julio 2012)

### 3. SITUACIÓN DE PARTIDA

#### 3.1 Localización del jardín

El jardín, objeto de este proyecto de riego se localiza en el campus de la Universidad Politécnica de Madrid, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAAB), dentro del campus de la Universidad Politécnica de Madrid, localizado en la ciudad universitaria, en la cara sur del edificio principal, situada en la parte delantera.

La ETSIAAB tiene varios jardines distribuidos en toda su extensión, cada uno de ellos con sus peculiaridades en cuanto a la orientación al sol, sombreado, tamaño o especies vegetales localizadas en él.

El jardín principal objeto de estudio ocupa un área de 3292,00 m<sup>2</sup> sin arbolado, donde el área del ajedrez 51,84 m<sup>2</sup> y del estanque 332,16 m<sup>2</sup> (ver Fig.1) no se riegan, siendo el área total a regar de 2908,0 m<sup>2</sup>, con topografía horizontal.

Al ser, el perímetro exterior del jardín prácticamente rectangular, será útil conocer su ancho y largo 89,9x36,7 m siendo el estanque de 8,4x34,6 m.



Figura 1 Jardín central de la ETSIAAB.

En el punto 40°26'30.10" N 3°43'41.32" O la elevación es 636msnm.

## 3.2 Suelo

Según los estudios realizados en los TFM mencionados en la revisión bibliográfica, el suelo es franco-arenoso, aunque a lo largo del jardín podría tener variabilidad espacial de sus propiedades heterogéneas. No obstante, como no se ha evaluado se considera que no es significativa por lo que supondremos que todo el jardín tiene el mismo tipo de suelo, siendo método de aplicación del riego similar en toda la parcela.

## 3.3 Especies herbáceas presentes en el jardín central.

El Jardín central dispone de una pradera cespitosa compuesta de numerosas especies vegetales, llegándose a diferenciar más de 100, debido a que tras el paso de los años se han ido adaptando nuevas especies invasoras, por lo que se tiene una gran biodiversidad. En las figuras 2. Se muestran algunas de estas especies.

La última siembra data de 2007 donde se utilizó una mezcla conocida como “Rustic” compuesta por *Festuca arundinacea* (80 %) y *Lolium perenne* (Raygrass inglés) (20 %). Mezcla de gran uso común pues es de gran resistencia a la sequía y da una buena imagen ornamental, lo que es el principal objetivo de este jardín. Tras dicha siembra el jardín sigue manteniendo el mismo césped.

Entre el resto de las especies que forman la flora arvense. Podemos destacar (Plaza et al, .2011):

*Plantago* spp. de la familia Plantaginaceae.

*Polygonum aviculare* L. de la familia Polygonaceae.

*Achillea millefolium* L.

*Bellis perennis* L. y *Taraxacum* sp. de la familia Asteraceae.

*Medicago sativa* L. y *Trifolium* ssp. de la familia Fabaceae; *Allium ampeloprasum* L. de la familia Liliaceae; *Amaranthus* spp. de la familia Amarantaceae.

*Malva sylvestris* L. de la familia Malvaceae.

*Oxalis corniculata* L. de la familia Oxalidaceae.

*Paspalum paspalodes* (Michx.) Scribn., *Poa annua* L., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Festuca arundinacea* Schreber s. y *Sporobolus indicus* (L.) R.Br. de la familia Poaceae.

*Cyperus longus* L. de la familia Cyperaceae.

*Portulaca oleracea* L. de la familia Portulacaceae.



*Daucus carota* L. de la familia Apiaceae y *Sherardia arvensis* L. de la familia Rubiaceae.

*Potentilla reptans* L. de la familia Rosaceae .



Figura 2.1 *Lolium perenne*



Figura 2.2 *Festuca arundinaceae*

### 3.4 Riego actual

El riego del jardín es por aspersión con tres sectores de riego y 32 aspersores emergentes PGP Hunter® de 10 cm con boquilla de color rojo, que trabajan a una presión de 4 bares. La boquilla indica el tamaño del orificio y determinará el radio de alcance, así como variaciones en el caudal. La escala de boquillas varía desde: tipo 1 (de menor tamaño) hasta el 12 (el de mayor tamaño). La boquilla puede intercambiarse para adaptarse a las circunstancias propias del jardín en cada punto.

La tubería porta-aspersores es de PVC con un diámetro de 50mm para cada sector de riego.

Los tres sectores de riego tienen un caudal similar, de necesidades de caudal similares. El riego del jardín está abastecido desde la arqueta de riego situada en el propio jardín. Las dosis y frecuencia de riego las fija el jardinero, el cual adapta el riego según la apariencia del césped y la época del año. Actualmente, desde el 30/05/2017 se aplica un riego cada 2 días, durante 30 minutos cada sector.

Además, dada la gran diversidad de especies con necesidades hídricas muy diferentes, se realizan riegos de apoyo, con una manguera, en aquellas zonas que demanden agua.

### 3.4.1 Ensayo de campo del riego actual.

A día 04/07/2017 se realiza el estudio de la uniformidad de aplicación del riego del jardín, siguiendo la normativa ISO 7749-2. Con las variables de riego del jardinero. Durante el ensayo se recogió.

Lámina bruta aplicada de 8,6 mm.

### 3.4.2 Coeficiente de uniformidad

La uniformidad de aplicación del agua se calculó con el coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen (1942):

$$CU = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |z_i - m|}{n * m} \right] * 100 \quad [1]$$

Donde m= altura media del agua recogida en los pluviómetros.

$z_i$ = Altura del agua recogida en el pluviómetro i.

n= número total de pluviómetros.

Se obtuvo un CU = 88,44% para el riego en la zona ensayada.

### 3.4.3 Calendario de riegos

Dado que el criterio de riegos lo fija el jardinero de manera aleatoria, no se puede concretar un calendario de riegos. La dosis de riego corresponde a 30 min por sector. El intervalo de riegos es menor en los meses de máximas necesidades, a excepción del mes de agosto, donde se reduce la pluviometría dado que la actividad de la Escuela se reduce drásticamente y por ello el jardín no está tan expuesto al público como en el resto de meses, y se descuida su riego para ahorrar agua, aunque repercuta en la estética del jardín.

#### **3.4.4 Calidad del agua:**

El agua de riego, proviene del canal de Isabel II, por lo que será agua potable apta para el consumo humano. Dada su calidad, no será necesario tomar medidas para el lavado de sales, pues no existirá un problema de acumulación de estas.

## 4. MEDIDA Y REGISTRO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

### 4.1 Sensores de humedad

Los sensores de humedad colocados en el suelo de la pradera son de tipo capacitivo  $ECH_2O$ , conocidos también como FDR “Frequency Domain Reflectometry”. En concreto son del modelo 10HS de Decagon (ver Fig 4).



Figura 3 Sensor 10HS 2 varillas. Fuente [www.lab-ferrer.com](http://www.lab-ferrer.com)

Este tipo de sensores con dos varillas determina el contenido volumétrico de agua, mientras que los sensores con 3 varillas, medirían también la temperatura del terreno (ver Fig. 5).



Figura 4 Sensor tres varillas Fuente [www.lab-ferrer.com](http://www.lab-ferrer.com)

El contenido volumétrico ( $\theta$ ) representa el volumen de agua respecto al volumen de suelo.

$$\theta = \frac{V_w}{V_T} [2]$$

Donde  $V_w$  es el volumen de agua y  $V_T$  es el volumen total (que es  $V_{\text{suelo}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{espacio vacío}}$ ).

Se expresa como una proporción que puede ir de 0 (completamente seco) hasta un valor máximo que corresponde con un valor teórico de la porosidad del suelo cuando esta saturado.

Este tipo de sensores, no mide directamente el contenido de humedad en el suelo, sino que su funcionamiento se debe al uso de la reflectometría la cual se basa en la relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y su constante dieléctrica.

Por tanto, los sensores, miden la constante dieléctrica del suelo que se ve afectada al variar la relación agua-aire. La constante dieléctrica del agua es mucho mayor que la del aire o los minerales del suelo.

La fracción volumétrica del suelo ocupada por agua tiene un valor dieléctrico (80) muy superior al de los otros constituyentes del suelo (suelo mineral: 4, materia orgánica: 4, aire: 1). Por este motivo, cuando el contenido de agua varia, los sensores de humedad del suelo detectan y miden esta variación de acuerdo a la velocidad de propagación en el suelo y la relacionan directamente con el cambio en el contenido de agua. Al contrario de lo que ocurre con otros sensores, los sensores de humedad del suelo no son sensibles ni a la textura y ni a la conductividad eléctrica (CE).

Entre las propiedades del sensor 10HS destacamos que tiene un bajo requerimiento energético y muy alta resolución (el fabricante estima el error en torno al 1-2%), por lo que se pueden realizar numerosas medidas durante largos períodos de tiempo.

Este sensor tiene un campo de acción muy pequeño, por ello se dará mayor importancia a la tendencia que presente el movimiento del agua en el suelo, que a los propios valores absolutos que transmitan los sensores. Además será importante tener un alto coeficiente de uniformidad en el riego que nos permita estimaciones más precisas.



Figura 5 Disposición de los sensores en el suelo. Fuente Lab Ferrer.

Los sensores se enterraron a las profundidades de: 15, 25 y 45 cm quedando en contacto las varillas con el suelo (sin presencia de huecos o piedras) y alterando lo menos posible la estructura del suelo durante la instalación.

## 4.2 Procesador de datos

Los sensores miden  $\theta$  , pero se requiere de un registrador de datos (Datalogger) para su almacenamiento y posible transmisión “on-line”

El datalogger es un sistema electrónico para la adquisición de datos con un sistema de transmisión vía GPRS. Los datos quedarían guardados en la memoria del equipo, de donde podrían ser descargados por el usuario de forma “on-line”. Al disponer de un micro controlador y un reloj a tiempo real, se conoce la fecha y hora de cuando la medición fue realizada.

En el jardín será instalado el datalogger suministrado por la misma empresa que los sensores Decagon, Em50G (ver Fig. 7).

Este modelo consta de 8 puertos de entrada, lo que le permitirá almacenar la información de 8 dispositivos conectados a él.

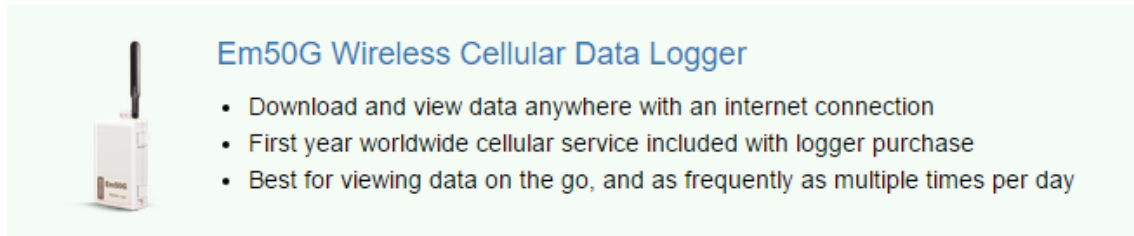


Figura 6 Datalogger del jardín. Fuente [www.lab-ferrer.com](http://www.lab-ferrer.com)

## Data trac 3

La información almacenada, se podrá visualizar “on-line” con el programa Data Trac 3 facilitado por la misma empresa. La información puede consultarse tanto en forma numérica como gráfica, donde se consulta el contenido de humedad de forma procesada ( $m^3/m^3$ ) o sin procesar (EC-5).

## 4.3 Puntos de control

Los sensores de humedad se localizan en dos puntos de control en el jardín. Cada uno de ellos cuenta con tres sensores enterrados a 15, 25 y 40 cm y un pluviómetro conectado al datalogger, tal como muestra la Fig. 8. La instalación se llevó a cabo en diciembre de 2011 y cada grupo de sensores del punto de control se encuentra conectado a su correspondiente datalogger.



Figura 7 Punto de control en el jardín.

Para la determinación de los puntos de control, se consideraron dos puntos significativos, eligiendo un punto en zona de solape entre el riego de aspersores y otro en zona de no solape (ver Fig. 9).

PS (Puntos de Solape) PNS (Puntos de No Solape)



Figura 8 Localización de los puntos de control del jardín

La información recibida por estos puntos de control del jardín, será contrarrestada con la información proporcionada por la estación climática del torreón del edificio principal de la ETSIAAB.

Los pluviómetros del jardín podrán registrar la precipitación, tanto de lluvia como del riego (ver Fig.10). Son de tipo cuchara simple auto descargable. El cono de recolección de la lluvia permite dirigir el agua hasta la cuchara basculante, la cual, llegado al nivel establecido, bajo la acción de su peso, gira descargando el agua. Las medidas de pluviometría se registran y almacenan en el datalogger.

Estas medidas serían las más precisas, pero se pueden ver afectadas por el factor humano, ya están presentes en una zona de alta exposición al tránsito de personas

que modifiquen la calidad de los datos tomados de formar puntual o influir en funcionamiento de forma más permanente.

Se ha de tener en cuenta el error de los propios aparatos de medida. Los pluviómetros de la azotea tendrán menor error, pero no detectan el riego y puede haber una variación importante en los datos detectados respecto a lo que realmente sucede en el jardín. La utilización de todos los datos posibles será necesaria para contrarrestar distintos resultados y detectar posibles errores ayudará a la precisión del estudio.



Figura 9 Pluviómetro utilizado para el estudio. Fuente: lab-ferrer.com

Los pluviómetros colocados en ambos puntos de control permitirán apreciar la diferencia de precipitación que se de en cada zona, información de gran validez que tendrá mayor diferencia cuanto menos sea la uniformidad de aplicación de la aspersión.



## 5. ESTUDIO AGRONÓMICO DEL JARDÍN

### 5.1 Selección de especies vegetales de la pradera.

Para la selección de las especies a tener en cuenta en la pradera, tomaremos las especies sembradas como referencia, considerando el resto de especies presentes como parte de la flora arverse. Por tanto quedarán a expensas de su adaptación a las condiciones impuestas en el jardín para las especies sembradas.

La última siembra data de 2007 donde se utilizó una mezcla conocida como “Rustic” compuesta por *Festuca arundinacea* (80 %) y *Lolium perenne* (Raygrass ingles) (20 %). Por lo que se utilizarán estas especies para el estudio del jardín.

Sin embargo, la variabilidad de las especies distribuidas a lo largo de todo el jardín y de forma irregular, implica que las exigencias hídricas sean muy distintas en los distintos puntos del jardín. Por lo que pese a establecer una dosis de riego adecuado para ciertas especies, puede no ser suficiente para otras, mostrando una imagen más marrón con una apariencia mucho más seca, especialmente en los meses de verano. (ver Fig. 11).



Figura 10 Efecto de las diferentes especies en el estado de la pradera

### 5.2 Necesidades hídricas

Se realiza el cálculo de las necesidades hídricas para las especies sembradas que se calculará atendiendo a:

- Balance de agua en el suelo.
- Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ).
- Evapotranspiración.

## 6. DISPONIBILIDAD DEL AGUA

### 6.1 Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo va a estar afectado por sus propiedades hidrofísicas que van a afectar a su capacidad de retención de agua como a su infiltración.

Estas propiedades son variables según las distintas condiciones del sistema, pero siempre dentro de unos límites determinados por el tipo de suelo.

Se estudiará la evolución del contenido hídrico del suelo en el tiempo.

### 6.2 Estados hídricos del suelo

**Seco:** El suelo no tiene agua almacenada, sus poros están cubiertos de aire.

**Punto de marchitamiento:** El punto de marchitamiento PM define al cantidad de agua almacenada en el suelo fuertemente por lo que no estaría a disposición de la planta. Si se llega a este punto la planta se muere

**Capacidad de campo:** La capacidad de campo CC, define la máxima capacidad de retención de agua por un suelo, los macro poros estarían vacíos.

Representaría el contenido máximo de agua almacenado por el suelo.

**Saturación:** El suelo tiene todos los poros saturados. No interesa llegar a esta situación puesto que, entre otros, se disminuye la cantidad de oxígeno disuelto y la planta se muere.

Siendo el Agua disponible total (ADT) la diferencia entre el agua presente en el suelo a capacidad de campo y la presente en el punto de marchitamiento. Hace referencia a su disponibilidad para la pradera.

No toda el agua disponible se extrae con la misma facilidad, siendo el Agua fácilmente aprovechable (AFA) la fracción que representa un porcentaje del agua disponible total que permitiría a la pradera disponer de las mejores condiciones posibles de humedad según la especie.

El AFA es la fracción de agua en la que el suelo se debería mantener siempre, para que el desarrollo fuera lo máxima posible sin llegar a producirse estrés en ningún momento.

### Déficit Permitido en el Manejo de riego (DPM):

El déficit permitido en el manejo de riego (DPM) se determina como el contenido volumétrico de agua en el suelo, que delimita el momento en el que por debajo de este valor la planta sufriría estrés por falta de agua, reduciendo así su producción. Por lo tanto definirá el momento en el que regar para evitar el estrés hídrico.

Representa el punto hasta donde el agua se puede absorber fácilmente por parte de la planta. El DPM dependerá de las especies vegetales y variará de acuerdo al estado fisiológico. La diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el DPM debe ser la lámina de riego por aplicar. (ver Fig. 12).

$$DPM \left( \frac{m^3}{m^3} \right) = PM + (CC - PM) * (1 - p) = PM + (CC - PM) * (1 - 0,46)[3]$$

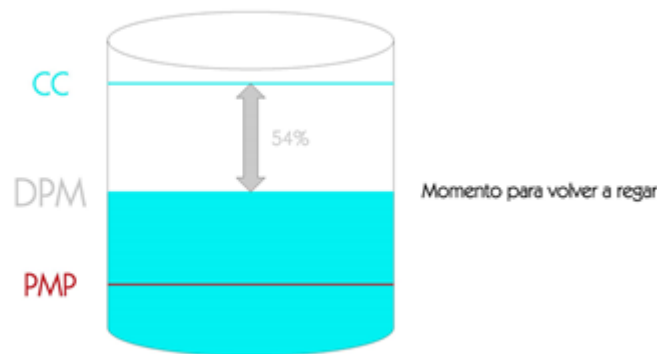


Figura 11 Momento de volver a regar. Fuente elaboración propia

### Estado hídrico requerido

Como procedimiento habitual, se busca mantener el jardín en un estado hídrico donde siempre se disponga de AFA, establecido entre unos límites de humedad. De este modo el jardín tendrá una apariencia óptima, sin llegar a producirse estrés hídrico en las especies vegetales.

Se utilizarán los términos descritos anteriormente para estudiar el movimiento del agua en el suelo, y relacionarlo con las medidas del contenido de humedad almacenadas cada 15 min.

Los límites establecidos para determinar el momento de riego, así como la dosis, se deben de ir ajustando de acuerdo a las propiedades variables del suelo, así como al desarrollo de la planta que implicará un aumento en el volumen de suelo explorado por las raíces alcanzando nuevos horizontes.

## **7. SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO**

### **7.1 Estado de los dispositivos del jardín.**

Al comenzar con el estudio, se ha comprobado el estado de los sensores y pluviómetros de campo, pues llevaban desde 2011 instalados.

Se observó que dichos sensores no transmitían datos durante un período de tiempo (entre mayo de 2016 y enero de 2017), puesto que la batería dejó de funcionar y hubo que reponerla.

Tras su recambio se comprueba que el sensor P3 del punto de solape colocado a una profundidad 15 cm, transmite datos intermitentes y descoordinados, por lo que lo descartaremos en el estudio actual.

Así mismo, se ha comprobado que los pluviómetros de campo no funcionan correctamente desde hace varios años por lo que sus medidas tampoco se han considerado. No obstante, la precipitación se ha tomado del pluviómetro de la estación climática situada en la azotea de la escuela. Sin embargo no se tuvo información de la pluviosidad de los aspersores.

### **7.2 Estudio del contenido de agua en profundidad**

Atendiendo al tipo de suelo y a las especies de césped en él. Se evalúa la información recibida adaptándola a la situación específica del jardín.

Se toman los primeros 20 cm del suelo, como el espesor de suelo, donde se requiere mantener el estado óptimo de humedad para el desarrollo del césped, pues será el espesor donde se concentre la mayor densidad radicular.

## 8. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO DURANTE EL RIEGO Y EL PERÍODO ENTRE RIEGOS.

La evaluación del contenido de humedad en el suelo, se basa en la información tomada por los sensores y mostrada en el programa Data Trac 3.

Se analiza cualquier tendencia del movimiento del agua y no tanto los valores absolutos puntuales de los sensores.

Con esta información se podrá estimar ciertas características físicas del suelo.

### 8.1 Determinación de los estados hídricos

La Tabla 1 muestra el contenido volumétrico de agua en el suelo según las variaciones en el movimiento del agua en el suelo detectadas por los sensores de humedad y que se han utilizado para determinar los límites que determinarán la dosis y el momento de riego.

Los valores estimados harán referencia a las situaciones de mayor requerimiento hídrico, ya que los límites que marcan variaciones en el movimiento del agua, no serán constantes a lo largo del tiempo.

Tabla 1 Contenido volumétrico de humedad en los distintos estados hídricos del suelo.

ESTADO HÍDRICO	CONTENIDO VOLUMÉTRICO (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> )
SATURACIÓN	0,41
CAPACIDAD DE CAMPO	0,29
PUNTO DE MARCHITAMIENTO	0,10

En cuanto al momento de volver a regar, determinado por el DPM, se establece que a 0,18 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) el agua ya no es absorbida fácilmente por la planta por lo que el riego se debería de realizar con contenidos de humedad superiores, para evitar el estrés hídrico.

De acuerdo a la información detallada por la FAO para el césped del jardín, consideraremos que la fracción de AFA, varía entre unos límites de humedad (máximo y mínimo) de 0,29 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> y 0,2026 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

## **8.2 Contenido de agua en profundidad.**

Para el estudio se han diferenciado tres zonas: 0-15 cm; 15-25 cm y 25-45 cm. La información recibida según sea la profundidad de medida, se interpreta de distinto modo de acuerdo al movimiento del agua en cada nivel.

El almacenamiento o el movimiento del agua en el suelo dependerán de sus características hidrofísicas.

Se observa que a 15 y 25 cm en comportamiento del agua en el suelo es similar manteniendo tendencias muy parecidas sin embargo, a 45 cm la tendencia es diferente.

El agua se encuentra más fácilmente disponible donde esté menos fuertemente retenida.

## **9. SISTEMA DE RIEGO**

### **9.1 Elección del método de riego.**

Se ha mantenido como método de riego la aspersion dado que el otro método disponible por gotero, no se adapta bien a las condiciones de la pradera.

### **9.2 Elementos del sistema de riego e instalación**

Para la nueva instalación, se eliminará la red antigua de riego y se instalará los nuevos elementos.

#### **9.2.1 Instalación**

Los elementos de la red de riego van enterrados, con aspersores emergentes que serán visibles en el momento del riego.

La tubería porta-aspersores se enterrará a 30 cm de profundidad.

El resto de elementos de la instalación no serán visibles, ya sea por quedar enterrados o dentro de la arqueta de riego.



## **10. DISEÑO DE LA RED HIDRAÚLICA**

### **Distribución de los aspersores**

La distribución de los aspersores se relaciona con el tipo de aspersor según el radio de alcance. Se muestra en los planos.

### **Arqueta de riego**

Se mantiene la localización de la arqueta actual, situada en el mismo jardín, donde se recibe el agua de la red principal y se reconduce para el riego.

No habrá limitaciones de caudal por parte del Canal de Isabel II. La altura de presión de la toma es variable, entre 35 y 75 m.c.a. Dependiendo de los usuarios conectados a la red general en cada momento.

### **Sectores de riego**

Se han considerado dos sectores de riego independientes.

Se han seleccionado dos sectores para reducir el diámetro de las tuberías frente a un sistema sin sectorizar, reduciendo el coste de la instalación así como para favorecer la instalación de Polietileno (PE) de baja o media densidad que facilite la instalación debido a su flexibilidad, fácil manejo y poco peso.

Además permitirá tener un mayor control del riego permitiendo aumentar los tiempos de riego favoreciendo la infiltración, ya que se estimará un tiempo necesario superior a 1h30min para infiltrar la lámina de riego requerida. Cada sector de riego está proyectado para cubrir la mayor superficie posible del jardín sin centrar el riego de cada sector en áreas concretas, dando un mayor margen a la infiltración en caso necesario.

Al diseñarse con aspersores que trabajen a una presión por debajo de la presión de la red y sin tener limitaciones de caudal. Ambos sectores podrán trabajar simultáneamente, especialmente durante los periodos de riegos, ya que coincidirán en horario no lectivo cuando la presión en la red general será mayor.

### **Alternativas de riego**

Para el proyecto de riego se han realizado varios planteamientos, y se han propuesto dos alternativas distintas, adecuándose a las necesidades del sistema.

Se ha propuesto la alternativa 1, formada por un anillo de riego cerrado para el riego del jardín y la alternativa 2 de análoga distribución pero sin cerrar la red.

## 11. CÁLCULO HIDRÁULICO DE TUBERÍA PORTA-ASPERSORES

Siendo un modelo de aspersión, el cálculo de las pérdidas de carga a lo largo de la tubería se hará siguiendo la ecuación de Blasius (1911), aplicada para una tubería con desagües dado que en materiales es de PE y se supone un régimen de corriente hidráulicamente liso.

$$hf(mca) = \left( F * 0,465 \frac{Qt^{1,75} \left(\frac{l}{h}\right)}{D^{4,75} (mm)} \right) * L(m) [4]$$

Así mismo, se seguirá un criterio de velocidad máxima de la instalación, permitirá aumentar la vida útil de la instalación, evitando un desgaste prematuro de las distintas piezas de la instalación.

La velocidad máxima en la tubería se limitará a 1,50 m/s. y el cálculo del diámetro de tubería se calculará a partir de:

$$U \left(\frac{m}{s}\right) = \frac{4 * Q \left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi * D^2(m)} [5]$$

Se utilizará como material para las tuberías polietileno de media densidad.

PE80 PN10

### Alternativa 1

Se selecciona el diámetro comercial:

$D_c = 50\text{mm}$  Espesor=3,7 mm

$D_{\text{interior}} = 42,6 \text{ mm}$

### Alternativa 2

Requiere la instalación de tuberías comerciales de diámetro y espesor:

$D_c = 63\text{mm}$  e=4,7 mm

$D_{\text{interior}} = 53,6 \text{ mm}$

Se requiere del uso de un regulador de presión en la cabecera de cada sector de riego ya establece 3,1 bar como límite máximo de presión, para mantener la uniformidad del diseño y evitar alteraciones en el riego que se producirían con los cambios de presión en la red.

## Derivaciones

Principalmente los aspersores quedarán conectados a la tubería porta-aspersores mediante una bobina, siendo la conexión en casos concretos mediante una tubería de derivación de menor diámetro.

$$D_c = 25 \text{ mm } e = 2 \text{ mm}$$

$$D_{\text{interior}} = 21 \text{ mm}$$

Al ser el menor diámetro comercial se usará esta tubería de PE80 para todas las derivaciones.

## 12. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS.

La programación de riego calcula los siguientes parámetros.

- **Dosis:** Cantidad de agua de riego a aplicar.
- **Frecuencia:** Intervalo de tiempo entre riegos sucesivos.
- **Tiempo de riego:** Tiempo durante el que se aplica el riego.

### 12.1 Dosis, frecuencia y tiempo de riego

Se estima una lámina bruta media necesaria para satisfacer las necesidades del jardín de 24,35 mm a aplicar por el sistema de aspersión.

La aplicación del riego se realizará en horario no lectivo una vez alcanzado el límite (DPM) que establece el momento para volver a regar. Dicho momento se determina con un contenido volumétrico de agua del suelo de 0,2026 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (DPM).

El volumen de agua necesario en cada dosis de riego para cubrir las necesidades hídricas cubiertas será de 70.809,80 litros.

La frecuencia de riegos será variable según el tiempo que se necesite para alcanzar este estado de humedad en el suelo.

El tiempo de aplicación de riego para el sistema de aspersión instalado es de 1h 40 min por sector de riego.

### **13. CALENDARIO DE EJECUCIÓN**

La ejecución del proyecto será adecuada para las épocas de primavera y otoño las más favorables para el nuevo crecimiento del césped tras el movimiento de tierras.

Además, el suelo húmedo favorecerá la labor frente a suelos más secos donde será más difícil y requerirá mayor esfuerzo desarrollar el mismo trabajo.

Por lo tanto se recomienda que el proyecto se realice tras un período de lluvias, una vez las condiciones ambientales permitan la realización adecuada del trabajo.

## 14. PROPUESTA DE MEJORA SOSTENIBLE

El empleo de los sensores de humedad para ajustar el riego en el jardín, implica que el riego se realice únicamente cuando sea necesario, ajustándose al volumen de agua disponible para la planta en cada momento.

Para que la aplicación de un riego uniforme sea capaz de satisfacer las necesidades hídricas de todo el jardín, se propone una nueva siembra de césped, adecuada a entornos soleados y ambientes secos que mantenga el color verde durante todo el año y presente resistencia a la sequía. Como podría ser una mezcla formada por Festuca arundinacea (80%), Lolium perenne (10%) y Poa pratensis (10%), mezcla similar a la de 2007 en busca de adaptarse adecuadamente al mismo entorno. De modo que el jardín se componga de un césped uniforme con las mismas necesidades a lo largo de toda su superficie.

Analizamos el sistema actual de riego y lo comparamos con el nuevo diseño.

La nueva red, dispone de menor número de aspersores, 26 frente a 32 (18,8% menos) de la instalación anterior y menor número de sectores de riego. Esto supone un ahorro en el presupuesto de la instalación, puesto que, al reducir el número de sectores, también se reduce el número de elementos de control para cada sector. (Electroválvula, llave de paso, manómetros) A su vez la reducción en el número de aspersores, reduce el caudal de riego, lo que implica un ahorro en el material para las tuberías, pues el dimensionamiento de estas será menor, necesitando menor cantidad de material PE para la instalación. Esta reducción se verá incrementada con la creación del anillo de riego, que dividirá el caudal redirigiéndolo en ambos sentidos. Así como una reducción en collarines y tuberías de enlace entre la tubería porta-aspersores y el aspersor.

Por lo que se puede diseñar una instalación de las mismas dimensiones, reduciendo el número de sectores de riego en 1.

La reducción del caudal máximo que se puede asperjar, implicaría un mayor tiempo de riego, el cual quedaría controlado gracias a la automatización. Mediante el uso del programador se seguiría emitiendo el mismo número de órdenes a las electroválvulas, ya que el número de cierres y aperturas de válvulas sería el mismo, debido a que el número de riegos también lo sería. Por lo que se estimara la vida útil de las pilas del programador similar a la actual, en torno a un año.

A su vez, la reducción en la presión de funcionamiento, permite que ambos sectores puedan trabajar simultáneamente en caso necesario, lo que permitiría acortar el tiempo de riego total del jardín.

Por otro lado, el sistema presenta dos dataloggers, cada uno en un punto de control. El datalogger utilizado, tiene la posibilidad de conectar 8 puertos, lo que se adapta perfectamente a nuestro sistema, ya que se disponen de 2 pluviómetros y 6 sensores

de humedad. Se propone conectar todos los elementos de los dos puntos de control en un único datalogger, mediante un alargamiento en la longitud de los cables de un punto de control, realizando el enlace de manera enterrada, con el fin de poder prescindir de un datalogger y aprovechar el máximo uso del que quede presente en el jardín, con el correspondiente ahorro económico que ello conlleva.

El nuevo diseño de la red de riego a diferencia del actual, también busca evitar el riego sobre la superficie del ajedrez, la cual supone un área de 51,84 m<sup>2</sup> que representa un 1,60% del área total.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

A parte de los trabajos anteriormente mencionados, se ha consultado las siguientes páginas web:

<http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

<http://www.lab-ferrer.com>

[https://regaber.com/images/pdf\\_area\\_clientes/FT%2011%20Jardinería/JC-J6-005%20-%20Aspersor%20Turbina%20T3.pdf](https://regaber.com/images/pdf_area_clientes/FT%2011%20Jardinería/JC-J6-005%20-%20Aspersor%20Turbina%20T3.pdf)

<https://www.hunterindustries.com>

<http://www.masa.es/wp-content/uploads/2013/05/TUBOS-DE-PE-TARIFA-2013-MASA.pdf>

<http://blogs.upm.es/meteorologica/>