

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA
Ingeniería de Telecomunicación

**SISTEMA DE MONITORIZACIÓN MEDIANTE SENSORES
EN TIEMPO REAL DE CULTIVOS UTILIZANDO BASES
DE DATOS NO RELACIONALES E INTELIGENCIA
ARTIFICIAL**

Hind El Mardi

Junio 2016



SISTEMA DE MONITORIZACIÓN MEDIANTE SENSORES EN TIEMPO REAL DE CULTIVOS UTILIZANDO BASES DE DATOS NO RELACIONALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

AUTORA: Hind El Mardi

TUTORA: Estrella Pulido Cañabate

Grupo de Neurocomputación Biológica (GNB)
Dpto. de Ingeniería de Telecomunicaciones
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Junio 2016



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por ayudarme a terminar este proyecto, gracias por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por estar conmigo en cada momento de mi vida.

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas que me han ayudado y me han apoyado a lo largo de estos años en España.

Mis padres, por su amor, trabajo y sacrificios en todos estos años. Gracias a vosotros he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Gracias por el apoyo que siempre he recibido de vuestra parte desde que llegué a España para estudiar. Mi cariño y agradecimiento para vosotros por haberme ayudado tanto, sin más interés que el de conseguir que terminará con éxito mi carrera.

Gracias a mis hermanas Loubna, Fatiha, Ilham y Soukaina que por supuesto son las mejores del mundo, por lo menos para mí. Les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado.

Quiero agradecer también mi tía Fátima que, siempre me ha apoyado mucho y espero que se sienta muy orgullosa y mi tío Ahmed Zaidi que, aunque no se encuentra entre nosotros, estoy segura de que se sentirá muy orgulloso de mí.

Quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a mis amigos Hanane, Sabrina, Sayo, Salma, Romina y sobre todo Fernando que ha hecho que este duro trance como es la carrera se llevará de forma más amena, porque no solo la EPS ha servido para formarme como



ingeniera, sino que en ella he encontrado muchas cosas más. Me ha formado como ingeniera, ha hecho que madurara y he encontrado unos amigos, que son ya parte de mi familia.

También mi agradecimiento está dirigido hacia los profesores que, durante mi tiempo de formación, han mostrado su paciencia y enorme interés en prestar su ayuda y conocimientos, con el único objetivo de conseguir que los alumnos nos enfrentáramos al mundo profesional, con el mejor bagaje posible de las materias que nos impartían.

Mi agradecimiento va dirigido especialmente a Dragan Vukotic (profesor de Análisis Matemático), Pablo Pernas (profesor de física), Fernando Maestre (profesor de economía), Javier ortega (director de la EPS), Alejandro Sierra (profesor de programación), Daniel Ramos (profesor de instrumentación electrónica), Jesús Bescos (profesor de sistemas lineales), Taha Ahmed Bazil (profesor de radio-comunicación).

Por último, quiero hacer patente mi mayor agradecimiento a la profesora Dña. Estrella Pulido Cañabate, tutora de este trabajo, que ha prestado sus conocimientos, su tiempo y colaboración, para hacer posible este proyecto.

Gracias a todos aquellos que no están aquí, pero que me ayudaron a que este gran esfuerzo se volviera realidad.

Por todo esto quiero daros las gracias.



إلى من جرع الكأس فارغاً ليسقيني قطرة حب
إلى من كآت أنامله ليقدّم لنا لحظة سعادة
إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم
إلى القلب الكبير (والدي العزيز)

إلى من أروضتني الحب والحنان
إلى رمز الحب وبلسم الشفاء
إلى القلب الناصع بالبياض (والدتي الحبيبة)

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة إلى رباحين
حياتي (إخوتي)

أهدي هذا العمل إلى أبي وأمي اللذان كانا دائماً بجانبني مساندين لي طيلة حياتي. شكراً أبي و أمي لأنكما مصدر
العطاء بدون مقابل و المحبة الدائمة و الرزق . شكراً أبي لأنك كنت دائماً الأب المثالي، شكراً لكل سنوات العمل
من أجلنا و من أجل راحتنا. شكراً أمي لأنك كنت الأم المثالية، الحنونة، التي لم تبخل ولا يوم من أجل نصحاني.
سأبقى أَدعو ربي ليلاً و نهاراً بأن يرزقكما الصحة و طول عمر مليئ بالفرح.

شكراً أخواتي لبني، فتيحة، إلهام و سكينه على وقوفكم دائماً بجانبني و المساهمة في اتمام على احسن وجه هذا
العمل.

شكراً لبني لكل الأعوام اللتي قضيناها مع بعض في إسبانيا و كل مغامراتنا الفريدة و على دعمك لي طوال
سنوات دراستي. شكراً فتيحة لأنك كنتي دائماً الأخت الحنونة التي تعتني بي و تتصحنني بالتي هي احسن. شكراً
إلهام لأنك كنت تبالين لي و تشجعيني و تسانديني في كل وقت و حين.
شكراً سكينه لأنك كنت دائماً الأخت الصغيرة الأقرب الي سنا و الأكثر مرحاً.

أهدي هذا العمل أيضاً إلى خالتي فاطمة التي دعمتني و ساندتني و إلى خالي احمد رحمه الله، فخر العائلة.

كلماتي لا تعبر إلا عن ذرة من امتناني لكم. انتم احبائي، انتم عائلتي، انتم حياتي.
شكراً.



RESUMEN

El trabajo que se muestra en este proyecto tiene su génesis en la observación de una necesidad planteada en el sector agroalimentario a nivel mundial y, más concretamente, en el sector primario de la agricultura.

La agricultura, desde el punto de vista de la alimentación, es uno de los sectores clave para el desarrollo, no solo de los países, sino del propio equilibrio humano y medioambiental en el mundo. Este sector básico para la sociedad, puesto que supone la parte esencial de la alimentación humana, ha experimentado enormes transformaciones durante las últimas décadas que han sido planteadas desde la necesidad de resolver el grave problema que supone el enorme crecimiento exponencial de la población humana en comparación con los recursos. Resolver este conflicto primordial ha supuesto poner en marcha todos los recursos tecnológicos que, también de forma exponencial, han ido surgiendo durante las últimas décadas en diferentes campos de la ciencia.

Los sistemas de plantación, crecimiento y recolección, o los que posteriormente se utilizan en la manipulación, manufactura, transporte y distribución de productos agroalimentarios, se han visto espectacularmente modificados, mediante la aplicación de tecnologías relacionadas con la ingeniería genética, la química, la mecánica, o la informática, por citar algunas de las materias tecnológicas que más han influido en el desarrollo productivo de este sector primario.

La aplicación que se expone en este trabajo se suma a esta idea de aumento de la productividad agrícola, con respecto al aporte de facilidad en el proceso de la gestión y los cuidados constantes que se precisan durante el desarrollo de cualquier especie vegetal. Se basa en resolver este problema de la gestión, en tiempo real, en plantaciones que requieren cambios constantes en sus condiciones ambientales para su correcto desarrollo que, en muchos momentos, no son predecibles y solo pueden ser modificadas mediante pruebas periódicas de observación y análisis que requieren, a su vez, la presencia de un gran número de personas durante un elevado número de horas.

De esta observación, surge la idea de desarrollar una aplicación basada en la inteligencia artificial y el procesamiento de señal en tiempo real, que sirva para controlar y modificar en su caso, las condiciones variables de plantaciones, a distancia y por una



sola persona, o un grupo reducido de técnicos, sin necesidad presencial y desde cualquier punto en el que se encuentren.

Por tanto, la aportación que esta aplicación ofrece al sector agrícola es un mejor y más sencillo control y gestión en tiempo real de la plantación, con unos costes infinitamente menores que los que suponen el cuidado convencional de dichas producciones.

En este trabajo se analizarán diferentes productos similares que existen en la actualidad en el mercado, mostrando una comparativa con la aplicación que aquí se desarrolla y las ventajas adicionales que esta ofrece respecto a las ofertas existentes.

El objetivo básico expuesto para la aplicación que se desarrolla en este trabajo, se complementa con otras utilidades de menor rango esencial, pero posiblemente de mayores posibilidades comerciales, como son la jardinería de gran extensión de parques públicos, o los jardines privados de pequeña superficie, pero de gran profusión.

Palabras clave:

Aplicación web, bases de datos no relacionales, inteligencia artificial, big data, tiempo real, predicción, estadística



ABSTRACT

The work that is shown in this essay has its origin in the observation of a necessity found in the global food and agricultural sector and specifically in the primary sector of agriculture.

The agriculture, observed from an alimentary point of view, is one of the key sectors for the development of countries, as well as human and environmental balance in the world. This basic sector for the society, given that it is an essential factor of the human nutrition, has experienced huge transformations during the last decades, which have been formulated because of the necessity of solving the problem of exponential growth of human population compared with that of natural resources. Solving this conflict has forced the use of technological resources that have also evolved exponentially in the first two decades of the 21st century.

The planting, growing and recollection systems, or the ones used in the manipulation, manufacturing, transport and distribution of food and agriculture products, have been greatly modified because of the use of new technologies such as genetic engineering, chemistry and mechanics or computing.

The application that is shown in this project takes into account this idea of improving the agricultural production in the management process and the constant cares that are needed during the growing of every vegetal species. It is based on solving the problem of management, in real time, in the fields, which require environmental changes for their proper development. These changes are not predictable and can only be modified through periodic tests, observation and analysis, that also require human presence for a long time.

Given these facts, we have decided to develop an application, based in artificial intelligence and processing of signals in real time that would be used by one person –or a small group of technicians in the distance, to control and modify the variable conditions in the field.

Because of that, this application offers a cheaper and easier control and management of the field conditions, in real time.



In this project, different existing products, as well as the new application, will be analysed and compared, showing the advantages that the new application has over the older ones.

The main aim of this application is complemented with less important utilities that can be interesting from a commercial point of view, such as huge public parks gardening or in smaller private gardens.

Key words:

Web application, non-relational data bases, artificial intelligence, big data, real-time, prediction, and statistics



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Motivación	18
1.2. Objetivos	19
1.3. Organización de la Memoria	21
2. ESTADO DEL ARTE	23
2.1. Situación del sector de la agricultura	23
2.1.1. Estudio y análisis del mercado en relación con la aplicación	28
2.1.1.1. PARROT Flower Power	29
2.1.1.2. Koubachi- Wifi Plant Sensor	30
2.1.1.3. PHYTEC Wireless Plant Monitoring System	32
2.1.1.4. Sensor de Temperatura	36
2.1.1.5. Termistor	36
2.1.1.6. RTD (Resistance Temperature Detector)	38
2.1.1.7. Termopar	38
2.1.1.8. Sensores de humedad de tierra	39
2.1.1.9. Sensor de luz	41
2.1.1.10. Sensor Tester Medidor Solar Ph + Humedad + Luz Planta Jardín	41
2.1.1.11. Kit Arduino para regar las plantas	43
2.1.2. Conclusiones del análisis realizado	44
3. DISEÑO	49
3.1. Punto de partida	49
3.1.1. Una aplicación práctica	49
3.1.2. Diseño de funciones	49
3.1.3. Aplicación tecnológica puntera	52
3.1.4. La rentabilidad	52
4. DESARROLLO	54
4.1. Desarrollo tecnológico de la aplicación	54
4.1.1. Hardware y Conexiones con la placa	56
4.1.1.1. Raspberry Pi	56
4.1.1.2. Conversor Delta Sigma Pi	60
4.1.1.3. Configuración de la Raspberry Pi y su conexión con el conversor Delta sigma Pi	62
4.1.1.4. Sensores: Procesado de medidas y lectura de datos	67
4.1.1.4.1. Temperatura	67
4.1.1.4.1.1. Sensor de Temperatura LM35	68
4.1.1.4.2. Luz	70
4.1.1.4.2.1. Sensor de Luz -LDR (Light Dependent Resistor)	71
4.1.1.4.3. Humedad del suelo	72
4.1.1.4.3.1. Sensor de humedad de tierra SEN92355P	74
4.1.1.4.4. Conexión de sensor de temperatura LM35 con el sistema	74
4.1.1.4.5. Conexión de sensor de humedad de suelo SEN92355P con el sistema	76
4.1.1.4.6. Conexión del sensor LDR con el sistema	77
4.1.1.5. Antena wifi: Micro adaptador USB Wireless N 150	79
4.1.1.6. Válvula	80
4.1.2. Aplicación Web	83
4.1.2.1. Reactividad de la aplicación Web	84
4.1.2.2. Plantillas HTML5 de la aplicación web	85
4.1.2.3. Almacenamiento de datos de la aplicación web	90
4.1.2.4. Gráficas	93
4.1.3. Respuesta del sistema	94
4.1.4. La implementación de la inteligencia artificial en el proyecto	95
4.2. Introducción del producto en el mercado	97
4.2.1. Metodología y Plan de Trabajo	98
4.2.2. Equipos y proceso	100
4.2.3. Identidad Corporativa del producto	100
4.2.4. Plan Estratégico de Marketing y Comunicación	101
5. INTEGRACIÓN, PRUEBAS RESULTADOS	104
5.1. Proceso de calibración de los sensores	104
5.1.1. Calibración del sensor de temperatura LM35	104



5.1.1.1. Montaje de medida.....	105
5.1.1.2. Temperaturas de referencia.....	105
5.1.1.3. Adquisición de medidas	106
5.1.1.4. Expresión analítica de la curva de calibración real	109
5.1.1.5. Ajuste por mínimos cuadrados de la curva de calibración medida	109
5.1.2. Calibración de sensor de intensidad de luz (LDR)	111
5.1.3. Calibración del sensor de humedad de tierra SEN92355P	112
5.2. <i>Albahaca, Ocimum Basilicum</i>	113
5.2.1. Pruebas y resultados	115
5.2.2. Resultados obtenidos	116
5.3. <i>La petunia</i>	117
5.3.1. Pruebas y resultados	118
5.5. <i>Conclusión</i>	119
6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	122
6.1. <i>Conclusiones del proyecto</i>	122
6.2. <i>Trabajo futuro derivado de la aplicación desarrollada</i>	123
BIBLIOGRAFÍA.....	124
ANEXOS	126
A.1. <i>Presupuesto estimado</i>	126
A.2. <i>Pliego de condiciones</i>	127



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: MEDIDA DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35 PARA LA TEMPERATURA AMBIENTE	106
TABLA 2: MEDIDA DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35 PARA LA TEMPERATURA DE LA MANO.....	107
TABLA 3: MEDIDA DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35 PARA LA TEMPERATURA DEL HIELO	107
TABLA 4: MEDIDA DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35 PARA LA TEMPERATURA DEL CALENTADOR	108
TABLA 5: MEDIDA DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35 PARA LA TEMPERATURA DEL RADIADOR.....	108
TABLA 6: TOMA DE MEDIDA DEL SENSOR LDR.....	111
TABLA 7: CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA, HUMEDAD DE SUELO Y LUMINOSIDAD IDEALES PARA EL BUEN CRECIMIENTO DE LA ALBAHACA	114
TABLA 8: RESULTADOS PRIMEROS OBTENIDOS UTILIZANDO LA APLICACIÓN.....	116
TABLA 9: MEJORA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN MEDIANTE SENSORES EN TIEMPO REAL DE CULTIVOS MEDIANTE BASES DE DATOS NO RELACIONALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL	117
TABLA 10: CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA, HUMEDAD DE SUELO Y LUMINOSIDAD IDEALES PARA EL BUEN CRECIMIENTO DE LA PETUNIA.....	118
TABLA 11: MEJORA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN MEDIANTE SENSORES EN TIEMPO REAL DE CULTIVOS MEDIANTE BASES DE DATOS NO RELACIONALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL	119



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: MAPA DEL MUNDO QUE INFORMA SOBRE EL PROBLEMA AGROALIMENTARIO MUNDIAL	25
FIGURA 2-2: DIAGRAMA DE SECTORES QUE MUESTRA LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO ..	26
FIGURA 2-3: DIAGRAMA DE SECTORES QUE INFORMA SOBRE LA CAPACIDAD DEL SUELO PARA LA AGRICULTURA	26
FIGURA 2-4: DIAGRAMA DE SECTORES QUE INFORMA SOBRE LA POBLACIÓN SUBNUTRIDA POR REGIONES EN 2011-2013.....	27
FIGURA 2-5: SITUACIÓN MUNDIAL DE LOS CULTIVOS BIOTECNOLÓGICOS	27
FIGURA 2-6: EL IMPACTO DE LA AGRICULTURA EN EL MEDIO AMBIENTE.....	28
FIGURA 2-7: PARROT FLOWER POWER Y SUS SENSORES.....	29
FIGURA 2-8: APLICACIÓN WEB Y MÓVIL DE PARROT FLOWER POWER	30
FIGURA 2-9: KOUBACHI-WIFI PLANT PARA USO INTERIOR, EXTERIOR Y PRO.	31
FIGURA 2-10: KOUBACHI PLANT CARE ENGINE (PCE).....	32
FIGURA 2-11: SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE CULTIVOS PHYTEC	33
FIGURA 2-12: LOS DIFERENTES MODELOS DEL DENDRÓMETRO PHYTEC.....	33
FIGURA 2-13: DENDRÓMETRO PHYTEC	34
FIGURA 2-14: TERMÓMETRO DE HOJA.....	35
FIGURA 2-15: LOS DOS ELECTRODOS QUE ENTREGAN INFORMACIÓN DEL FLUJO DE SAVIA	35
FIGURA 2-16: CURVA DEL TERMISTOR DEL FABRICANTE EPCOS MODELO B59401A0115A062	37
FIGURA 2-17: VARIACIÓN DE LOS VALORES DE LA TEMPERATURA NTC EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA	38
FIGURA 2-18: SENSOR DE HUMEDAD DE TIERRA SEN0114 [5]	39
FIGURA 2-19: INTEGRACIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD DE TIERRA SEN0114 EN LA RASPBERRY PI [6].....	40
FIGURA 2-20: CÓDIGO DE INSTALACIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO SEN0114 [7]	40
FIGURA 2-21: PLANTA INTERIOR	41
FIGURA 2-22: REPRESENTACIÓN DEL TAMAÑO DEL SENSOR TESTER MEDIDOR SOLAR PH + HUMEDAD + LUZ PLANTA JARDÍN	42
FIGURA 2-23: SENSOR TESTER MEDIDOR SOLAR PH + HUMEDAD + LUZ PLANTA JARDÍN....	43
FIGURA 2-24 : KIT ARDUINO	44
FIGURA 2-25: LA SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO DE LOS DATOS APORTADOS POR EL ANÁLISIS DE MERCADO REALIZADO.....	46
FIGURA 3-1: ESQUEMA UTILIZADO COMO BASE PARA EL DESARROLLO DE LAS FUNCIONES PRINCIPALES QUE DEBE ABARCAR EL SISTEMA.	51
FIGURA 4-1: DIAGRAMA DE LA ARQUITECTURA SOFTWARE DEL SISTEMA PROPUESTO	54
FIGURA 4-2: CONEXIONES RASPBERRY PI, VÁLVULA Y SENSORES.....	56
FIGURA 4-3: RASPBERRY PI.....	57
FIGURA 4-4: COMPONENTES DE LA RASPBERRY PI.....	58
FIGURA 4-5: MODELOS “A” Y “B” DE LA RASPBERRY PI RESPECTIVAMENTE.	59
FIGURA 4-6: INSTALACIÓN DE LA RASPBERRY PI.	60
FIGURA 4-7: DISEÑO DEL CONVERTOR DELTA SIGMA PI. FUENTE [10].....	61
FIGURA 4-8 : CONFIGURACIÓN DE RASPBERRY PI.....	63
FIGURA 4-9: LECTURA DE ADC	63



FIGURA 4-10: LOCALIZACIÓN DEL CONVERTOR DELTA SIGMA PI EN LA RASPBERRY PI. FUENTE [10].....	64
FIGURA 4-11: CONFIGURACIÓN 1 PARA DELTA-SIGMA PI Y LAS DIRECCIONES I2C ASOCIADOS. FUENTE [10].....	65
FIGURA 4-12: CONFIGURACIÓN 2 PARA DELTA-SIGMA PI Y LAS DIRECCIONES I2C ASOCIADOS. FUENTE [10].....	65
FIGURA 4-13: CONFIGURACIÓN 3 PARA DELTA-SIGMA PI Y LAS DIRECCIONES I2C ASOCIADOS. FUENTE [10].....	65
FIGURA 4-14: CONFIGURACIÓN 4 PARA DELTA-SIGMA PI Y LAS DIRECCIONES I2C ASOCIADOS. FUENTE [10].....	66
FIGURA 4-15: CONFIGURACIÓN 2 Y 1 PARA DELTA-SIGMA PI.....	66
FIGURA 4-16: PROCESO DE LA TRANSPIRACIÓN VEGETAL. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES ...	68
FIGURA 4-17: SENSOR DE TEMPERATURA LM35. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES	68
FIGURA 4-18: CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35.....	69
FIGURA 4-19: LONGITUDES DE ONDA DE LA LUZ. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES	70
FIGURA 4-20: PLANTAS CON NECESIDAD DE LUZ. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES	71
FIGURA 4-21: ONDAS DE LUZ. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES.....	71
FIGURA 4-22: CURVA CARACTERÍSTICA DE LA RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE LA LUZ PARA EL SENSOR DE LUZ LDR. . FUENTE [14].....	71
FIGURA 4-23: SENSOR DE LUZ LDR. FUENTE [14].....	72
FIGURA 4-24: MEDIDA DE LA HUMEDAD DE TIERRA.	73
FIGURA 4-25: MEDIDA DE LA HUMEDAD DE TIERRA.	73
FIGURA 4-26: SENSOR DE HUMEDAD DE TIERRA	73
FIGURA 4-27: SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO SEN92355P. FUENTE [15]	74
FIGURA 4-28: CONEXIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35 CON RASPBERRY PI.	75
FIGURA 4-29: CÓDIGO NECESARIO PARA LA CREACIÓN DE LA FUNCIÓN 'PROCESATEMPERATURA'	75
FIGURA 4-30: CÓDIGO NECESARIO PARA LA LECTURA DEL VOLTAJE PROPORCIONADO POR EL SENSOR LM35	75
FIGURA 4-31: CÓDIGO NECESARIO PARA LA CREACIÓN DE LA FUNCIÓN 'PROCESAHUMEDAD'	76
FIGURA 4-32: CÓDIGO NECESARIO PARA LA LECTURA DEL VOLTAJE PROPORCIONADO POR EL SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO SEN92355P	76
FIGURA 4-33: CONEXIÓN DEL SENSOR LDR CON RASPBERRY PI.	77
FIGURA 4-34: FUNCIÓN 'LEEVOLTAJE'	78
FIGURA 4-35: FUNCIÓN 'PROCESALUMINOSIDAD'	78
FIGURA 4-36: MICRO ADAPTADOR USB WIRELESS N 150. FUENTE [16].....	79
FIGURA 4-37: COMPONENTES DE LA VÁLVULA.....	81
FIGURA 4-38: LAS VÁLVULAS DE SOLENOIDE	82
FIGURA 4-39: CÓDIGO DE MEDIDAS A TIEMPO REAL.....	85
FIGURA 4-40: EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN REACTIVA.....	85
FIGURA 4-41: CREACIÓN DE LA TEMPLATE HOME.HTML	86
FIGURA 4-42: CREACIÓN DE LA TEMPLATE 'TEMPLATE-DATOS.HTML'	86
FIGURA 4-43: CREACIÓN DE LA TEMPLATE 'TEMPLATE-GRAFICA.HTML'	87
FIGURA 4-44: CREACIÓN DE LA TEMPLATE 'TEMPLATE-RIEGO.HTML'	87
FIGURA 4-45: VISUALIZACIÓN DEL BOTÓN "GRAFICAS" DE LA APLICACIÓN WEB	88
FIGURA 4-46: VISUALIZACIÓN DEL BOTÓN "DATOS" DE LA APLICACIÓN WEB.....	88
FIGURA 4-47: VISUALIZACIÓN DEL BOTÓN "RIEGO" DE LA APLICACIÓN WEB	89
FIGURA 4-48: VISUALIZACIÓN DE HOME PAGE	89
FIGURA 4-49: VISUALIZACIÓN DE LOS DISTINTOS BOTONES.....	90



FIGURA 4-50: CREACIÓN DE COLECCIONES.....	90
FIGURA 4-51: CONEXIÓN CLIENTE/BASE DE DATOS	91
FIGURA 4-52: FUNCIÓN ‘ENVIAMEDIDA’ QUE MANDA LAS LECTURAS A LA BASE DE DATOS	91
FIGURA 4-53: PARTE DEL BACK-END DEL CÓDIGO DE LA APLICACIÓN WEB	92
FIGURA 4-54: CREACIÓN DEL TEMPLATE ‘TEMPLATE-GRAFICAS.HTML’	93
FIGURA 4-55: GRÁFICAS DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y LUMINOSIDAD DE LA APLICACIÓN WEB	93
FIGURA 4-56: FRONT-END DE LAS GRÁFICAS DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y LUMINOSIDAD DE LA APLICACIÓN WEB.....	94
FIGURA 4-57: REPRESENTACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE LAS MEDIDAS EN FUNCIÓN DEL AÑO, MES, DÍA, HORA Y MINUTO	94
FIGURA 4-58: ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DE VÁLVULA	95
FIGURA 4-59: LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL PROYECTO....	97
FIGURA 4-60: ESQUEMA QUE INFORMA SOBRE METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	99
FIGURA 4-61: LOGOTIPO DE LA APLICACIÓN PARA LA MONITORIZACIÓN, CONTROL Y GESTIÓN INTEGRAL EN TIEMPO REAL DE PLANTACIONES Y COSECHAS	101
FIGURA 4-62: ESQUEMA BÁSICO DEL PLAN DE MARKETING Y COMUNICACIÓN PARA EL LANZAMIENTO AL MERCADO DE LA APLICACIÓN COMO PRODUCTO	102
FIGURA 5-1: RECTAS DE CALIBRACIÓN	110
FIGURA 5-2: CURVA DE CALIBRACIÓN SENSOR DE LUZ (LDR)	112
FIGURA 5-3: CÓDIGO PARA NAVEGAR AL DIRECTORIO DE LOS DEMOS	112
FIGURA 5-4: CÓDIGO UTILIZADO PARA VER EL CÓDIGO	112
FIGURA 5-5: CÓDIGO PARA LA CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD DE TIERRA SEN92355P	113
FIGURA 5-6: CÓDIGO PARA LA EJECUCIÓN DE LA DEMOSTRACIÓN.....	113
FIGURA 5-7: LA ALBAHACA, OCIMUM BASILICUM	114
FIGURA 5-8: DIAGRAMA DE LA ARQUITECTURA SOFTWARE DEL SISTEMA PROPUESTO	115
FIGURA 5-9: SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO CLAVADO EN LA TIERRA DE LA PLANTA	116
FIGURA 5-10: LA PETUNIA	117



CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

La compleja situación que presenta el mundo respecto al enorme crecimiento exponencial de la población, en comparación con el consumo y las necesidades alimentarias que precisa de los recursos naturales existentes, cuya producción no ha experimentado el mismo ritmo de crecimiento que la población, hacen imprescindible y urgente la aplicación de una serie de medidas, entre las que se encuentra el aumento de la eficacia en el control y gestión de cada parámetro relacionado con el incremento de la producción agrícola que se está demandando y que supone la parte más esencial de la alimentación humana.

Resulta evidente que el inmenso avance experimentado durante los últimos años en el campo de las nuevas tecnologías, que ha motivado el enorme desarrollo en las tecnologías web de las bases de datos no relacionales, el procesamiento de big data y la inteligencia artificial; ha conseguido en muy poco tiempo, múltiples soluciones a problemas de similar naturaleza, aportando sistemas sofisticados y completamente elaborados, para dar respuestas eficaces a los nuevos desafíos que se hacen presentes en la evolución de la sociedad del siglo XXI.

La implementación del estándar HTML5 y las últimas tecnologías web client-side, sumadas a la evolución de las capacidades de los terminales móviles, nos permiten la implementación de aplicaciones de enorme potencia, en dispositivos de reducido tamaño.

La llegada de los entornos Cloud y la tecnología de discos duros SSD han permitido reducir los costes de los servidores y hacer accesibles máquinas de gran potencia a cualquier tipo de negocio, sea cual sea su dimensión y características. Estos entornos permiten además su uso en cualquier terminal de última generación, lo que se traduce en una gran capacidad y flexibilidad para reducir o ampliar el número de dispositivos o la calidad de los mismos.

El desarrollo de la idea que aquí se plantea como proyecto se realiza bajo este entorno tecnológico, con el objetivo de aportar una parte de la solución de un problema real que afecta en todos los órdenes a la sociedad actual y en mayor medida a las generaciones futuras.



Es obvio que la pretensión de la aplicación que se desarrolla en este documento, no es la solución total de este problema de enorme envergadura, sino una pequeña aportación a dicha solución desde el punto de vista de la eficacia de control y gestión en tiempo real que proponemos.

Aunque el objetivo prioritario de la aplicación objeto de este trabajo, sea el definido anteriormente, también ofrece otras posibilidades de menor rango y complejidad, que pueden ser planteadas como soluciones de problemas menores, que se expondrán en este documento para su posible desarrollo y lanzamiento al mercado que corresponda.

1.1. Motivación

La motivación esencial para plantear la aplicación que aquí se desarrolla ha sido, tal y como explicábamos anteriormente, la posible aportación que puede suponer dicha aplicación para llevar a cabo un control más eficaz en la producción agrícola a gran escala, formando parte de la solución de un grave y crucial problema para la sociedad.

Todos los informes emitidos a nivel internacional relacionados con este problema alimentario, presentan datos alarmantes que afectan fundamentalmente a los países menos desarrollados, y entre las recomendaciones de diferente naturaleza que se sugieren en dichos informes, siempre se citan las nuevas tecnologías como una parte esencial de la solución, tal y como se hace en un párrafo de uno de los informes realizados recientemente por la FAO:

“Los países menos adelantados hacen frente a un déficit de recursos internos para generar las inversiones necesarias al logro de sus objetivos de desarrollo agrícola, incluida la meta de reducir el número de personas desnutridas para 2015. La idea de la inversión para aumentar la capacidad productiva de la agricultura no sólo se refiere a los activos físicos, sino también a la *divulgación de la ciencia y la tecnología*, el potenciamiento del capital humano y el fortalecimiento del capital social. Crear un ambiente favorable a la inversión para elevar los niveles de productividad e introducir los cambios estructurales necesarios es un importante desafío de política.” **[1]**

Resulta evidente que la solución a un problema mundial de estas dimensiones, depende de múltiples factores económicos, políticos y sociales de gran complejidad. Pero no es menos evidente, que la ciencia y la tecnología aplicadas desde los diferentes



campos que se precisan, serán igualmente cruciales, no solo en cuanto al aumento de la capacidad de producción, sino respecto a la reducción de sus costes y la facilidad de gestión. Factores ambos, que también influirían sobre las decisiones políticas y económicas que se precisan para conseguir un cambio positivo en este sentido.

Considerando que la motivación para llevar a cabo este trabajo es clara y concreta, el siguiente paso deberá considerar también los retos que muestra la realidad del sector y los objetivos que se persiguen, con objeto de adecuar las bases esenciales del trabajo que aquí se desarrolla, partiendo de las plataformas de trabajo idóneas, que nos permitan dirigir cada fase del desarrollo completo de la aplicación objetivo hacia, el camino correcto. De igual forma, se analizarán los productos similares existentes en el mercado, con objeto de obtener un resultado final como producto que ofrezca mejoras y cualidades diferenciales respecto a los existentes.

Se trata, por tanto, de iniciar los trabajos previos al desarrollo de la aplicación que pretendemos, de forma ordenada y estructuralmente idónea, de manera que todos sus aspectos queden cubiertos y encaminados en la misma dirección, sabiendo que dependen de múltiples factores entre los que tiene una especial importancia la comunicación de múltiples datos, que deben ser fiables y producirse en tiempo real, con objeto de gestionar de manera eficaz diferentes parámetros que dependen de diferentes factores difícilmente previsibles.

Multiplicidad de datos, comunicación rápida y nuevas tecnologías serán el aporte de la aplicación que aquí se desarrolla, como parte de la solución a un problema real que se detecta en el mundo de manera emergente. Esta es la motivación que dio lugar a la aplicación que se expone en este proyecto.

Una aplicación de sencillo manejo y baja inversión que supone un cambio innovador de adaptación a las demandas del mercado, desde diferentes puntos de vista, tal y como explicaremos a lo largo de esta memoria.

1.2. Objetivos

El objetivo que pretende este trabajo, es conseguir una aplicación basada en las tecnologías más punteras, que haga posible el almacenamiento, tratamiento, transmisión y recepción de múltiples datos relacionados con el análisis y gestión de grandes, medianas y pequeñas producciones agrícolas y que ofrezca una potente herramienta con



la suficiente capacidad, versatilidad, rapidez y eficacia, para gestionar en tiempo real y de manera eficaz cualquier tipo de producción, posibilitando además que su utilización pueda ser realizada tanto desde un ordenador como de un simple Smartphone.

Concretando algunos de los parámetros que definirán los objetivos básicos a conseguir en la aplicación motivo de este trabajo, podríamos citar los siguientes:

- Capacidad de almacenamiento y gestión de datos.
- Aumento de la eficacia de gestión.
- Aprovechamiento máximo de los recursos naturales.
- Gestión en tiempo real.
- Fiabilidad en el análisis y control de datos.
- Posibilidades de adaptación a cada tipo de explotación.
- Costes asumibles y adaptados a cada tipo de explotación.
- Eficiencia y rapidez en las comunicaciones.
- Mejoras y ventajas diferenciales del producto respecto a los existentes.

Los objetivos que se persiguen se asociarán a cada una de las funciones de la aplicación que se pretende.



1.3. Organización de la Memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- **Capítulo 1: Introducción.** Motivación, objetivos y estructura de la memoria del proyecto.
- **Capítulo 2: Estado del arte.** Realización de un análisis exhaustivo sobre los productos similares que se encuentran en el mercado actualmente. Estudio comparativo de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.
- **Capítulo 3: Diseño y desarrollo del sistema.** Explicación de los diferentes aspectos de diseño del sistema.
- **Capítulo 4: Desarrollo.** Explicación del proceso de desarrollo hardware y software del sistema y la aplicación web. Definición de las acciones básicas que se necesitan para introducir la aplicación como producto en el mercado.
- **Capítulo 5: Integración, pruebas y resultados.** Pruebas y resultados del sistema.
- **Capítulo 6: Conclusiones y trabajo futuro.** Conclusiones obtenidas tras el análisis de resultados. Problemas pendientes, posibles mejoras y líneas de trabajo futuras.
- Bibliografía y anexos



CAPÍTULO 2.

ESTADO DEL ARTE



2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Situación del sector de la agricultura

El primer paso en la realización del trabajo que aquí se expone ha consistido en realizar un análisis básico del sector agrícola al que se dirige la aplicación que se pretende como producto final.

Lo primero que ha llamado nuestra atención sobre la documentación analizada, no ha sido solamente el problema ya comentado de la superpoblación del planeta respecto a los recursos naturales existentes, sino las múltiples voces de organismos internacionales y expertos, en contra de los modelos y sistemas de producción agrícola que actualmente existen en el mundo, alertando de la necesidad de cambios de manera emergente.

Como ejemplo, reproducimos algunas citas en este sentido, de altos representantes de la FAO (Food and Agriculture Organization).

“El modelo de producción agrícola que predomina en el mundo hoy, no es el adecuado para los retos de alimentación de este siglo, por lo que los agricultores pequeños, medianos y pequeños tienen que migrar hacia un modelo sostenible de agricultura.” [1]

Recientemente un panel de alto nivel sobre sostenibilidad global advirtió que el actual modelo económico “nos está empujando en forma inexorable hacia los límites de los recursos naturales y de los sistemas ecológicos que hacen posible la vida en el planeta.

Por ello, para tener seguridad alimentaria se necesita producir más alimentos, hacerlo en grandes volúmenes, y sí aumentar la productividad, pero obligatoriamente tiene que ser en forma sostenible e inclusiva.”

“El 80 por ciento de las explotaciones en el mundo son pequeñas y éstas tienen un papel fundamental en la producción de alimentos en forma sostenible, por lo que se debe atender la pequeña producción como tema fundamental de la política pública de los países.”



“El modelo de producción de alimentos intensivo proveniente de la Revolución Verde y otras revoluciones agrícolas muestran un deterioro de recursos y no pueden evitar la degradación de suelos, contaminación de aguas y pérdida de biodiversidad, por lo que este sector es responsable del 25 por ciento de los gases de efectos invernadero (GEI) en el mundo. Existe una preocupación por la producción de alimentos para 9.600 millones de personas en 2050.”

“Necesitaríamos dos tierras para satisfacer las necesidades en el 2030. Nuestro sistema alimentario es responsable del 80 por ciento de la deforestación del planeta, es la principal causa de la pérdida de especies y biodiversidad, además de usar 70 por ciento del consumo de agua dulce.”

“Hoy, la humanidad utiliza el equivalente de 1.5 planetas y para el 2030, si sigue esta tendencia demográfica y de consumo, necesitaremos el equivalente a dos tierras; y para el 2050 requeríamos casi tres planetas para satisfacer nuestras necesidades”.

A la vista de las anteriores declaraciones y de otras muchas similares encontradas en el trabajo de documentación, que se apoyan en profundos estudios realizados, nos reafirmamos aún más en la idoneidad del trabajo que aquí se expone, en relación a sus grandes posibilidades de aportar soluciones de gestión eficaz, que además, según se desprende de los informes consultados, sería una herramienta a medida de los pequeños productores agrícolas, que suponen el 80% del sector y son el objetivo de los cambios que se aconsejan como solución a los graves problemas que presenta la agricultura en la actualidad.

Si al grave problema agroalimentario analizado, se unen otros factores medioambientales íntimamente relacionados con la agricultura, como el cambio climático, la escasez de agua, o el impacto de los cultivos transgénicos, así como la enorme trascendencia que estos factores tienen sobre la población mundial, no cabe duda alguna de la necesidad de aplicar las tecnologías más innovadoras como una parte esencial para la solución de un problema crucial, que incide sobre el hambre de grandes sectores de la población y que requiere de todo el esfuerzo en múltiples campos de la ciencia.

Parece claro que los sistemas y planteamientos utilizados hasta el momento han dado lugar a los vertidos incontrolados de gases nocivos a la atmósfera, el cambio



climático, la escasez de agua dulce, la deforestación incontrolada, el mal planteamiento de los cultivos transgénicos.

Las figuras 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 Y 2-6, que se muestran a continuación, han sido recopiladas de diferentes informes fiables y ofrecen algunos datos reveladores en este sentido, que confirman la dimensión del problema y la necesidad de abordarlo desde todos los frentes. La aplicación que aquí se desarrolla está motivada por este razonamiento.

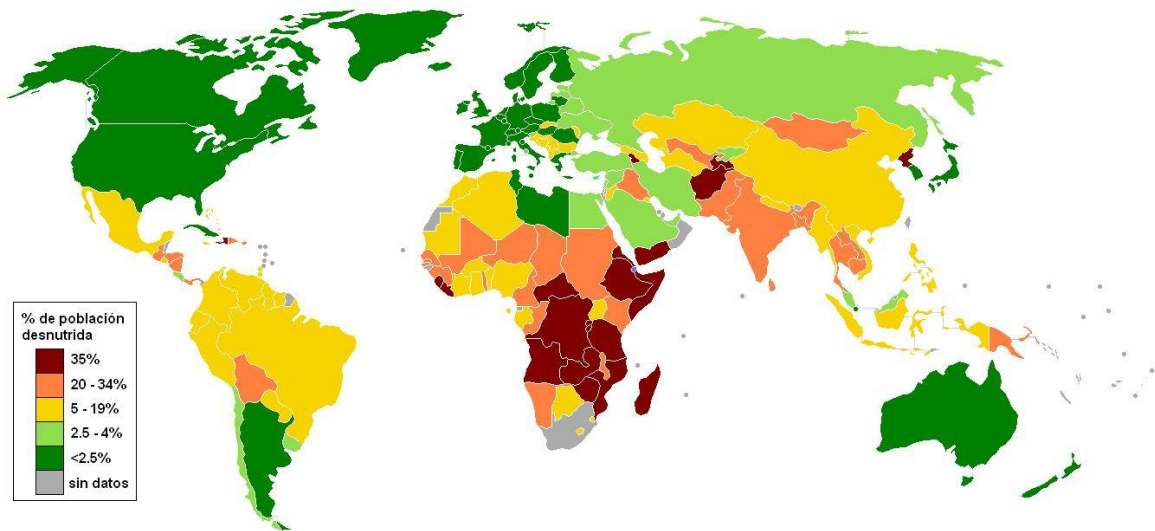


Figura 2-1: Mapa del mundo que informa sobre el problema agroalimentario mundial



Emisión de gases de efecto invernadero por sector

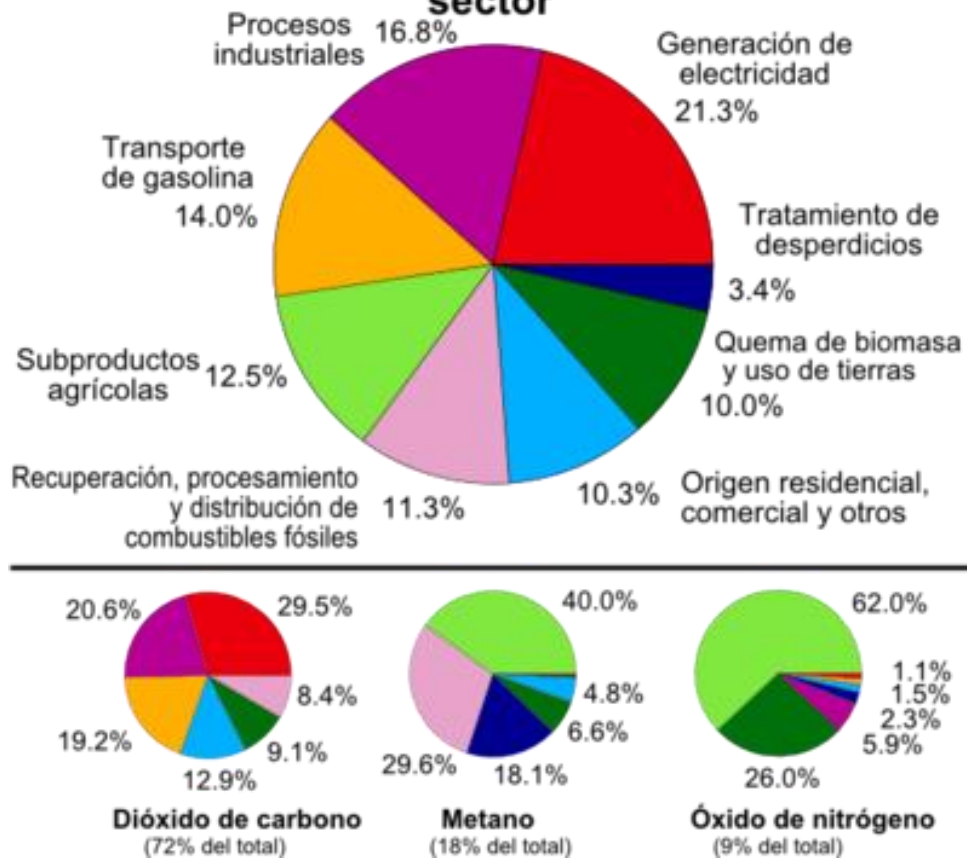


Figura 2-2: Diagrama de sectores que muestra la emisión de gases de efecto

La capacidad del suelo para la agricultura

% de terrenos mundiales

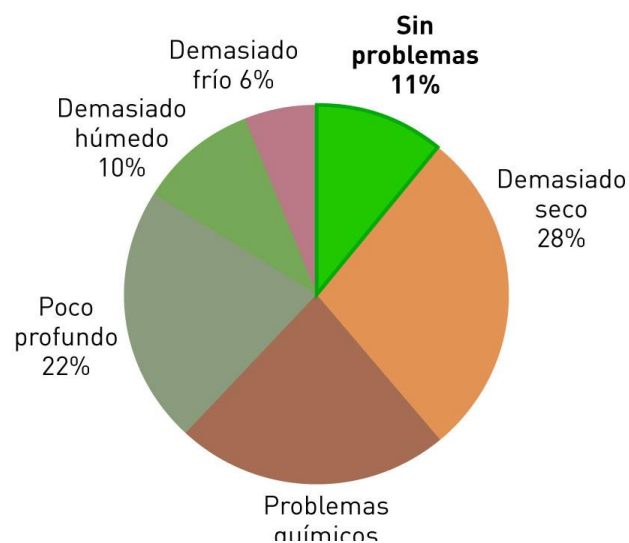


Figura 2-3: Diagrama de sectores que informa sobre la capacidad del suelo para la agricultura

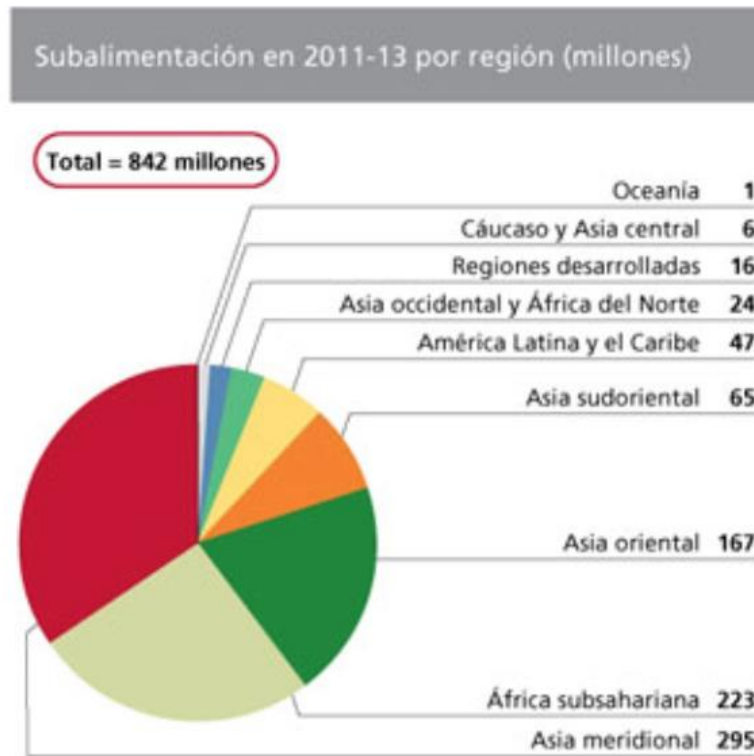


Figura 2-4: Diagrama de sectores que informa sobre la población subnutrida por regiones en 2011-2013

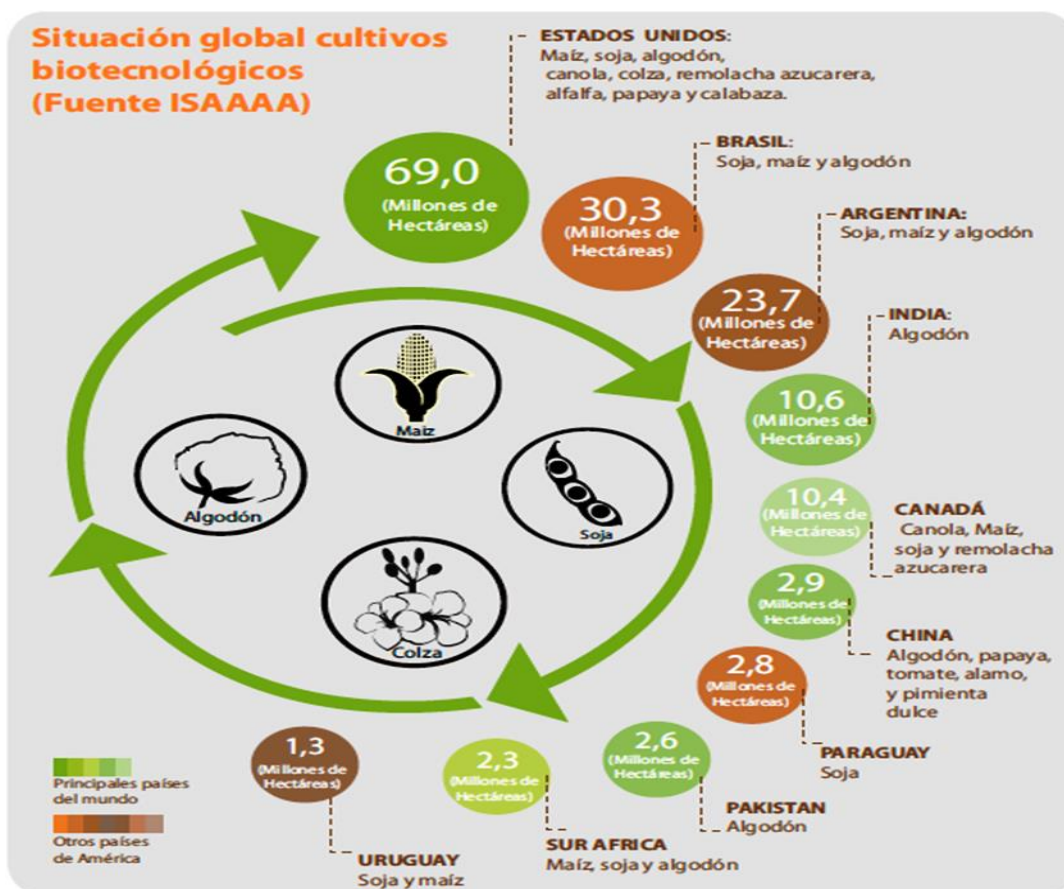


Figura 2-5: Situación mundial de los cultivos biotecnológicos

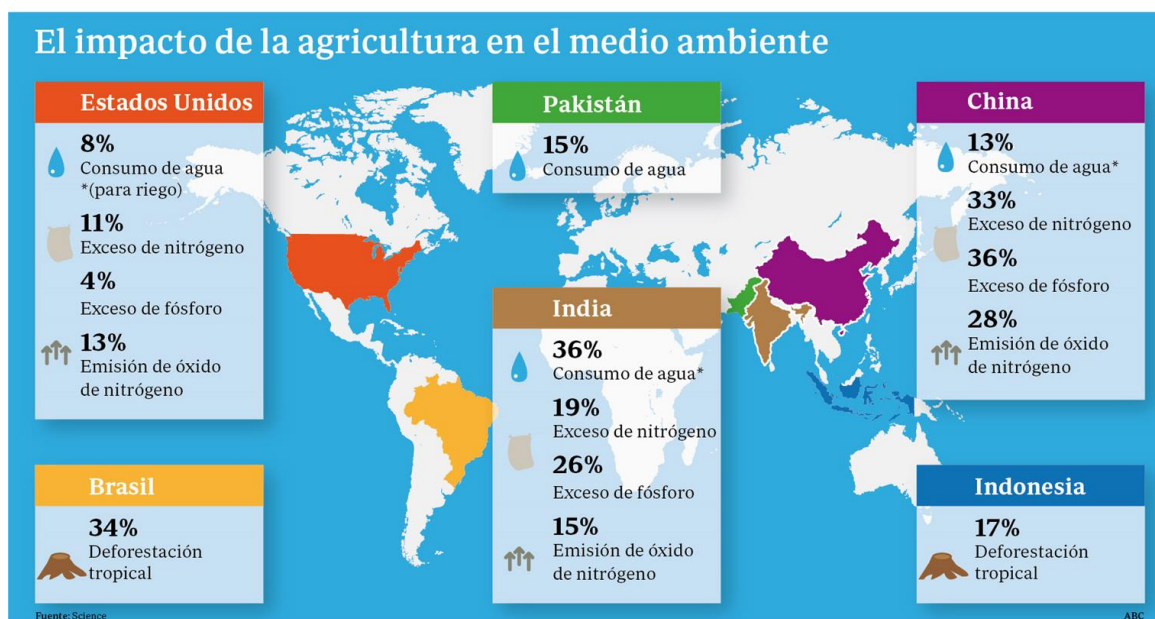


Figura 2-6: El impacto de la agricultura en el medio ambiente

2.1.1. Estudio y análisis del mercado en relación con la aplicación

El siguiente paso, previo al desarrollo de la aplicación que se pretende, ha consistido en la realización de un análisis exhaustivo sobre los productos similares que se encuentran en el mercado actualmente.

Este proceso de análisis ha servido, a la vez, para determinar algunos componentes del sistema que se presentaban como idóneos para implementar la aplicación que pretendemos.

La mayor parte de los productos existentes analizados están más orientados a la jardinería que a las producciones agrícolas, aunque algunos de ellos sí ofrecen esta funcionalidad. Con objeto de comparar los productos de la forma más gráfica posible, exponemos a continuación imágenes de cada producto analizado junto a breves explicaciones textuales.



2.1.1.1. PARROT Flower Power

Parrot Flower Power [2] monitoriza y compara 4 criterios que son fundamentales para el crecimiento y el buen estado de salud de las plantas que son la humedad de la tierra, el fertilizante, la temperatura ambiente y la luz solar (Figura 2-7).



Figura 2-7: Parrot Flower power y sus sensores

Parrot flower Power está desarrollando una aplicación para móviles, Android o IOS, que permite controlar el estado de la planta utilizando una plataforma móvil. Ésta informa, mediante notificaciones y alertas, cuando la planta necesita algo. Cuando el Flower Power detecta la necesidad de intervenir, envía que una notificación al móvil o la tableta (conviene comprobar la compatibilidad del dispositivo), que se conecta por Bluetooth Smart al Flower Power (Figura 2-8).

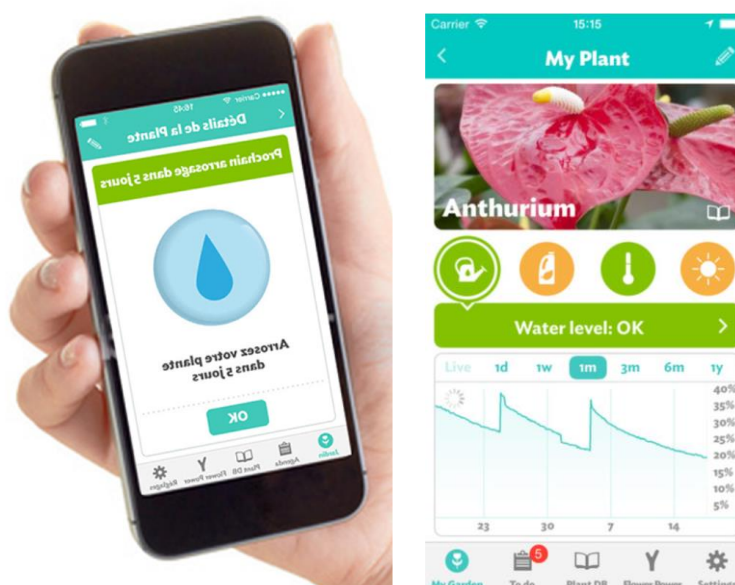


Figura 2-8: Aplicación web y móvil de Parrot Flower Power

El producto también incorpora herramientas estadísticas que ayudan a situar la planta según sus necesidades de calor y luz.

En cuanto a sus características, el sistema usa Bluetooth Low Energy y es resistente al agua ya que las piezas de plástico están soldadas por ultrasonidos, macromelt y juntas de poliuretano. También es resistente a temperaturas desde -10°C hasta 55°C y la duración de la batería es de 6 meses. En cuanto a las dimensiones y el peso, son $3.5 \times 7 \times 19.5$ cm y 45 gramos respectivamente.

Esta aplicación utiliza tecnología Bluetooth, cosa que no permite el buen funcionamiento y la total conectividad del aparato con el móvil, con lo que podemos decir que es poco fiable y limitada.

2.1.1.2. Koubachi- Wifi Plant Sensor

Koubachi- Wifi Plant Sensor [3] que tiene como eslogan ‘Da voz a tu planta’ es un aparato que determina el estado de la planta mandando notificaciones y consejos para el cuidado de la planta.

Existe tanto el Koubachi- Wifi Plant Sensor para uso interior como Koubachi- Wifi Plant Sensor para uso exterior (Figura 2-9). Este último soporta condiciones climatológicas extremas (lluvia, bajas y altas temperaturas...). También están



desarrollando el Koubachi-Wifi Plant Sensor Pro que tiene características adicionales como sensores de radiación infrarroja y la temperatura de la tierra.



Figura 2-9: Koubachi-Wifi Plant para uso interior, exterior y pro.

Koubachi- Wifi Plant Sensor está formado por un sensor que mide los distintos parámetros fundamentales para la supervivencia de las plantas y, una vez analizados, se envían instrucciones de cuidado al móvil IOS, Android o al correo electrónico.

Wi-Fi Plant Sensor se instala en la maceta clavándolo en el sustrato. Mide la humedad de la tierra, la temperatura ambiental y la luminosidad que recibe la planta. Luego se transmiten estos datos vía Wi-Fi a su servicio en la nube, donde son analizados por un programa denominado Koubachi Plant Care Engine (PCE), que usa modelos de cuidado de plantas desarrollado en colaboración con biólogos. Posteriormente se envían al cliente instrucciones al móvil o vía mail mediante notificaciones, avisos y alarmas (Figura 2-10).



Figura 2-10: Koubachi Plant Care Engine (PCE).

Wi-Fi Plant Sensor funciona con dos pilas de 1,5 V (AA) y la batería tiene una duración de un año. Los sensores que tiene son de humedad del suelo (0 hasta 6000 mBar), temperatura (-20 °C hasta +50 °C) e intensidad de luz (0 hasta 200 kLux). Usa Wi-Fi: 802.11 b/g @ 2.4 GHz y tiene muy bajo consumo y para la seguridad usa protocolos de seguridad: WEP, WPA, WPA2 y comunicación encriptada con el servidor AES.

Esta aplicación tiene como ventaja el uso de Internet. Sin embargo, consta solo de tres sensores y la información que nos proporciona acerca de la planta es escasa.

2.1.1.3. PHYTEC Wireless Plant Monitoring System

El sistema de supervisión de cultivos PHYTEC [4] tiene instalado un sistema de supervisión de cultivos que cuenta con los siguientes dispositivos:

- Sensores ambientales que son medidores de velocidad y dirección del viento, luvias, radiación solar, temperatura y humedad del aire.
- Sensores para las plantas que son medidores de variación de tallo, crecimiento de fruto, temperatura y humedad de la Hoja, flujo de savia y humedad del suelo.
- Sistemas de comunicaciones inalámbricas y software de control que posibilitan el desarrollo de estudios muy precisos de los cultivos altamente productivos (Figura 2-11).

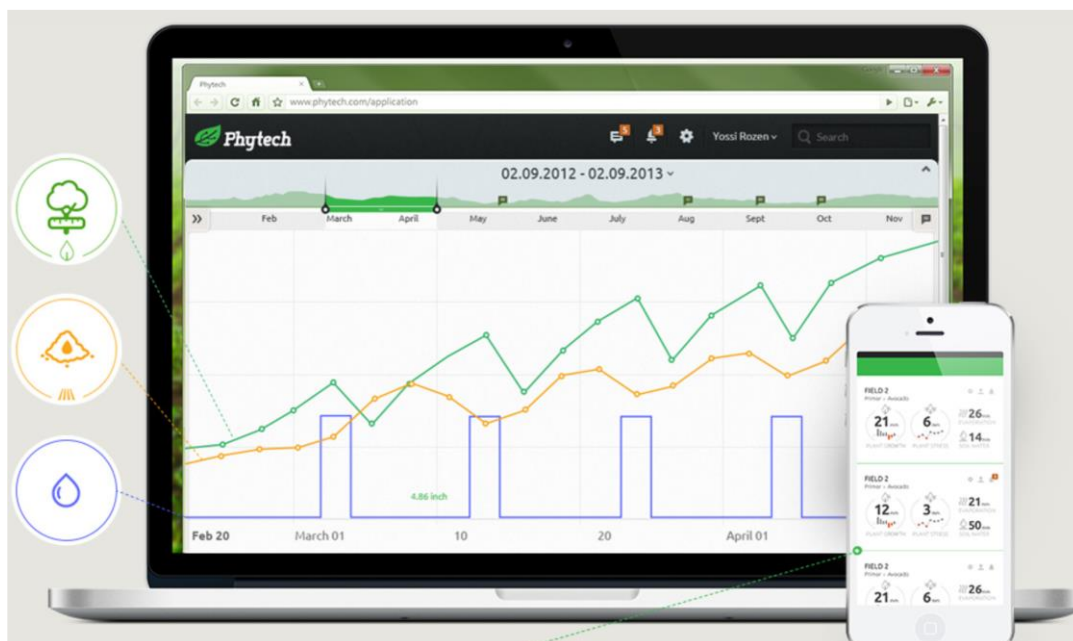


Figura 2-11: Sistema de supervisión de cultivos PHYTEC

Entre sus principales componentes que presentan similitudes con el proyecto, están los dendrómetros de tronco, dendrómetros de fruto, sensores de humedad, termómetros de hoja y sensores de flujo de sabia.

El dendrómetro de tronco tiene un sensor que permite medir en forma continua las contracciones y dilataciones del tronco. Estas variaciones están relacionadas con el nivel de estrés de la planta, durante la mayor parte del ciclo fenológico de la misma. Su información es de gran utilidad, sobre todo en plantas muy sensibles a las variaciones en la disponibilidad del agua. Adicionalmente entrega información de la tasa de crecimiento de la planta y existen diversas formas de instalarlo.



Figura 2-12: Los diferentes modelos del dendrómetro PHYTEC

El dendrómetro de fruto (Figura 2-13) es un sensor que permite medir de forma continua las contracciones y dilataciones del fruto. Se usa fundamentalmente para determinar



las variaciones de calibre de los frutos y su relación con las políticas de riego. La información que nos proporciona no resulta de gran utilidad, sobre todo en determinadas plantas que son muy sensibles a las variaciones en la disponibilidad del agua. Existen muchos modelos, de acuerdo a la forma, tamaño y características mecánicas de los frutos (Figura 2-12).



Figura 2-13: Dendrómetro PHYTEC

El sensor de humedad sirve para medir el contenido volumétrico de agua en el suelo y normalmente utiliza tecnología TDR y FDR, siendo esta última la más precisa, por ser menos afectada por el contenido de sales del terreno.

El termómetro de hoja permite medir con precisión la temperatura en el envés de la hoja. Para una correcta interpretación de los datos, se requiere medir la temperatura de la hoja y la temperatura del ambiente circundante a la misma, para comparar dichos valores (Figura 2-14).

Esta medición permite conocer las condiciones de refrigeración de la hoja, lo que está directamente relacionado con la disponibilidad de agua en el suelo.

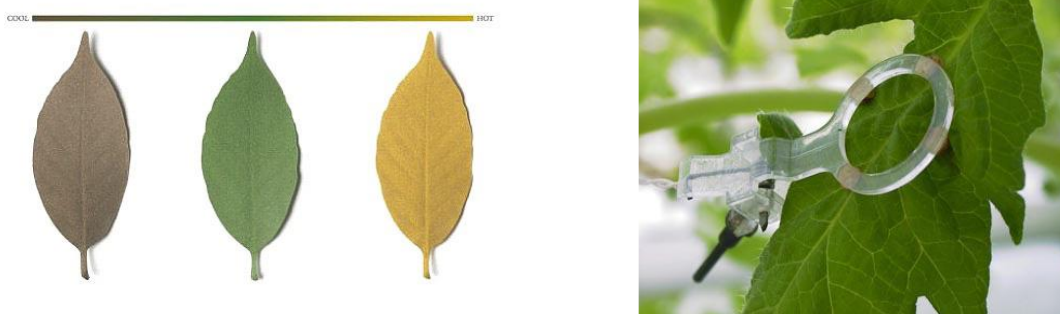


Figura 2-14: Termómetro de hoja

El flujo de savia permite medir la velocidad del flujo de savia en la planta y está basado en dos electrodos que se insertan en la planta. Uno de ellos emite un pulso calórico en su ubicación y con el otro se determina el tiempo que demora en propagarse por la savia (Figura 2-15). Las corrientes ascendentes nos entregan información del flujo de agua y nutrientes que van de la raíz a las hojas

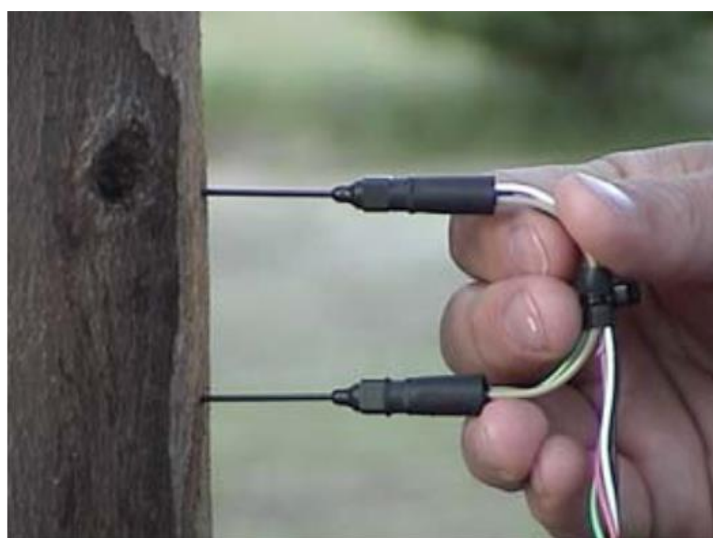


Figura 2-15: Los dos electrodos que entregan información del flujo de savia

Estos productos parecen muy eficaces y muy precisos. Aunque Phytex es la empresa pionera y líder mundial en monitorización de los cultivos y con la más amplia gama de sensores de planta (tronco, fruto y hoja) para diferentes cultivos (pimiento, tomate, uva, olivo) no dispone de un sistema que combine gran parte de las características citadas anteriormente en un solo dispositivo, cosa que cumple el sistema propuesto en este proyecto.



2.1.1.4. Sensor de Temperatura

El control y la regulación de temperatura forman parte de las tareas de medición más importantes en el sector de la automatización y de las técnicas de procesos de las plantas. Una temperatura adecuada influye claramente en la calidad y la rentabilidad de los cultivos. Además, para evitar estados peligrosos es necesario supervisar la temperatura en muchas aplicaciones. Para ello se utilizan sensores y transmisores de temperatura, así como sondas rígidas o con cable, las cuales se conectan a una unidad de evaluación externa. En algunos sectores industriales también se utilizan sensores por infrarrojos para la medición sin contacto.

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipos eléctricos o electrónicos. Existen tres tipos de sensores de temperatura: los termistores, los RTD y los termopares.

El sensor de temperatura, habitualmente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectará el equipo electrónico.

2.1.1.5. Termistor

Los termistores son sensores de temperatura resistivos donde el elemento sensor cambia su resistencia de acuerdo con las variaciones de temperatura. Existen dos tipos de termistor, aquellos cuya resistencia aumenta en función de la temperatura, también llamados PTC (Positive Temperature Coefficient) y aquellos cuya resistencia disminuye conforme aumenta la temperatura, llamados NTC (Negative Temperature Coefficient). El término termistor proviene de Termal Sensitive Resistor.

El material base con que están fabricados los termistores es un semiconductor (igual que los transistores) que deja pasar parcialmente la corriente. La ventaja de los termistores frente a otros sensores de temperatura es el bajo precio de estos, su amplio rango de medida y lo extendidos que se encuentran. Esto permite obtener dispositivos a los que se pueden conectar sin mayores problemas.



La desventaja principal, es que no son lineales, lo que dificulta la adquisición de datos y además son complicados de calibrar. Al igual que otros sensores resistivos como la PT100, los termistores acusan el efecto del autocalentamiento por el paso de corriente, por lo que hay que ser cuidadosos en la tensión y corriente que hacemos circular por el sensor para evitar falsos aumentos de temperatura.

La Figura 2-16 presenta la curva resistencia/temperatura del termistor PTC.

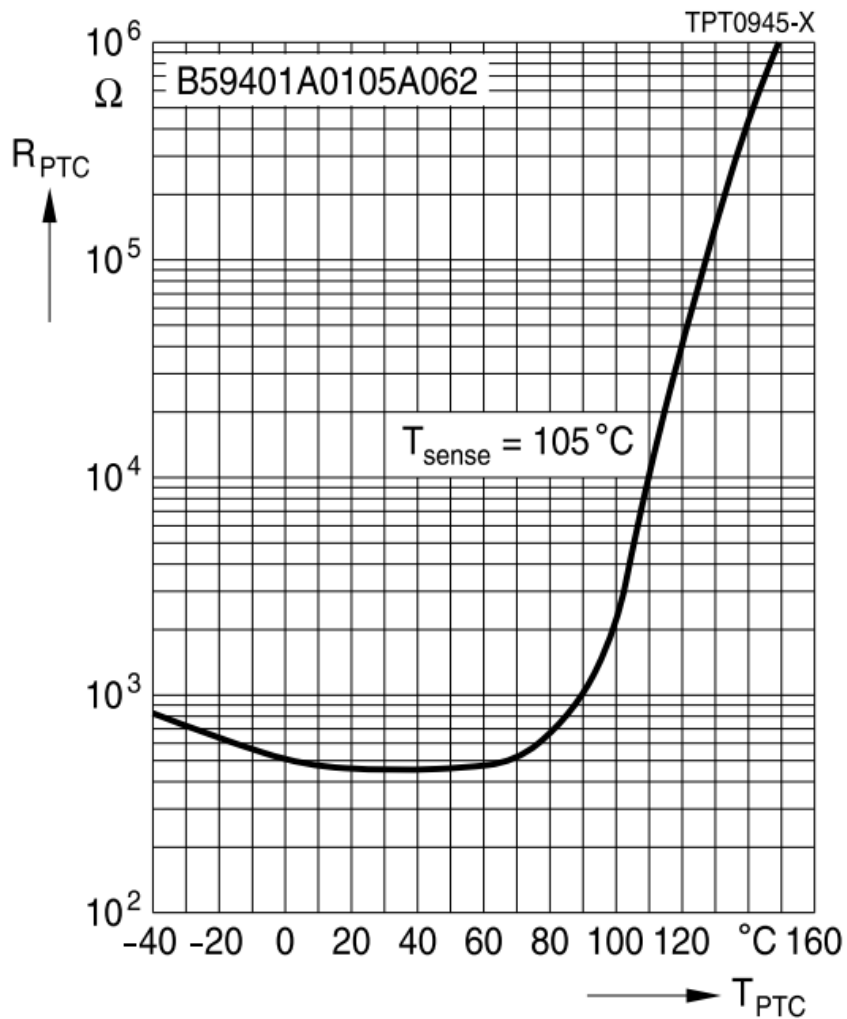


Figura 2-16: Curva del termistor del fabricante EPCOS modelo B59401A0115A062

La Figura 2-17 presenta los valores de la temperatura NTC dependiendo de la resistencia.



Temp °C	K-Ohms	Temp °C	K-Ohms	Temp °C	K-Ohms	Temp °C	K-Ohms	Temp °C	K-Ohms
0	1088.0	30	236.4	60	63.70	90	20.45	120	7.594
1	1030.0	31	225.6	61	61.17	91	19.75	121	7.364
2	975.3	32	215.3	62	58.75	92	19.07	122	7.142
3	923.8	33	205.5	63	56.44	93	18.41	123	6.927
4	875.2	34	196.2	64	54.23	94	17.78	124	6.720
5	829.5	35	187.4	65	52.12	95	17.18	125	6.519
6	786.3	36	179.0	66	50.10	96	16.60	126	6.326
7	745.6	37	171.0	67	48.17	97	16.04	127	6.139
8	707.2	38	163.5	68	46.32	98	15.50	128	5.958
9	671.0	39	156.3	69	44.54	99	14.98	129	5.784
10	636.8	40	149.4	70	42.85	100	14.48	130	5.615
11	604.5	41	142.9	71	41.23	101	14.00	131	5.452
12	574.0	42	136.7	72	39.67	102	13.54	132	5.294
13	545.2	43	130.8	73	38.18	103	13.09	133	5.141
14	518.0	44	125.1	74	36.75	104	12.66	134	4.994
15	492.3	45	119.8	75	35.39	105	12.25	135	4.851
16	468.0	46	114.7	76	34.08	106	11.86	136	4.713
17	444.9	47	109.8	77	32.82	107	11.47	137	4.580
18	423.2	48	105.2	78	31.62	108	11.11	138	4.450
19	402.6	49	100.8	79	30.46	109	10.75	139	4.325
20	383.1	50	96.54	80	29.35	110	10.41	140	4.204
21	364.6	51	92.52	81	28.29	111	10.08	141	4.087
22	347.1	52	88.69	82	27.27	112	9.763	142	3.974
23	330.6	53	85.04	83	26.29	113	9.456	143	3.864
24	314.9	54	81.55	84	25.35	114	9.161	144	3.757
25	300.0	55	78.22	85	24.45	115	8.876	145	3.654
26	285.9	56	75.04	86	23.59	116	8.601	146	3.555
27	272.5	57	72.01	87	22.76	117	8.336	147	3.458
28	259.8	58	69.11	88	21.96	118	8.080	148	3.364
29	247.8	59	66.34	89	21.19	119	7.832	149	3.274
								150	3.186

Figura 2-17: Variación de los valores de la temperatura NTC en función de la resistencia

2.1.1.6. RTD (Resistance Temperature Detector)

Un RTD es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor en función de la temperatura. Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno. De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura.

2.1.1.7. Termopar

El termopar, también llamado termocupla, recibe este nombre por estar formado por dos metales y es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico.

Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica. El termopar



genera una tensión que está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor. Midiendo con un voltímetro la tensión generada, conoceremos la temperatura.

Los termopares tienen un amplio rango de medida, son económicos y están muy extendidos en la industria. El principal inconveniente estriba en su precisión, que es pequeña en comparación con sensores de temperatura RTD o termistores.

Estos sensores de temperatura parecen muy eficaces. Permiten conocer el estado de la planta e informar de su crecimiento y evolución, pero no proporcionan todo el conjunto de información que nos puede dar el sistema de monitorización de nuestro proyecto y tampoco dispone de aplicaciones, ni de página web para poder visualizar los datos medidos y procesar los resultados obtenidos.

2.1.1.8. Sensores de humedad de tierra

Existen muchos sensores que permiten el control de humedad del suelo o tierra de plantas como el sensor de humedad de tierra SEN0114. Sus fabricantes lo consideran como el sensor perfecto para plantas conectadas, ya que es un sensor muy sencillo de utilizar porque devuelve una tensión proporcional al nivel de humedad medido. De esta manera se puede saber con relativa precisión si la tierra está seca, húmeda o tiene demasiada agua. Las puntas del sensor están tratadas para resistir mejor la oxidación y alargar su vida útil. La alimentación es de 3.3V o 5V y su voltaje de salida es de 0 a 4.2V. Sin embargo, su corriente es de 32mA.



Figura 2-18: Sensor de humedad de tierra SEN0114 [5]

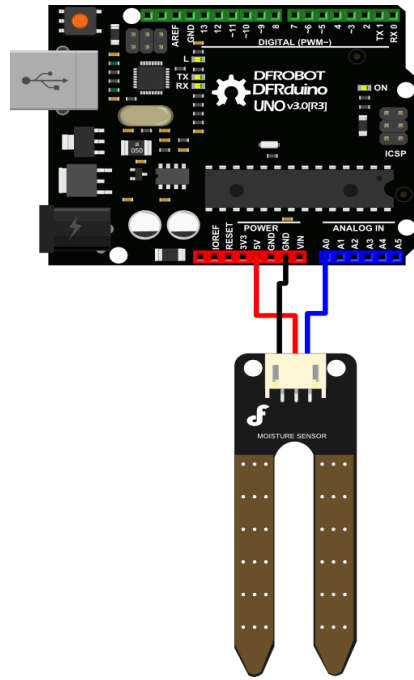


Figura 2-19: Integración del sensor de humedad de tierra SEN0114 en la Raspberry Pi [6]

```
1  /*
2   # Example code for the moisture sensor
3   # Editor    : Lauren
4   # Date     : 13.01.2012
5   # Version  : 1.0
6   # Connect the sensor to the A0(Analog 0) pin on the Arduino board
7
8   # the sensor value description
9   # 0 ~300   dry soil
10  # 300~700  humid soil
11  # 700~950  in water
12  */
13
14  void setup(){
15
16    Serial.begin(57600);
17
18  }
19
20  void loop(){
21
22    Serial.print("Moisture Sensor Value:");
23    Serial.println(analogRead(A0));
24    delay(100);
25
26  }
```

Figura 2-20: Código de instalación del sensor de humedad de suelo SEN0114 [7]



2.1.1.9. Sensor de luz



Figura 2-21: Planta Interior

Las plantas utilizan la luz solar para elaborar la energía que necesitan, razón por la cual no pueden crecer si se las coloca en medio de una habitación oscura. Básicamente, las plantas emplean la luz para elaborar azúcares, muy similares a la glucosa, que más tarde se convertirán en los elementos químicos que necesitan para un crecimiento sano y vigoroso (Figura 2-21).

Existen muchos sensores de luz que están integrados en aparatos junto con otros sensores que permiten controlar el crecimiento de las plantas tal como el sensor Tester Medidor Solar Ph + Humedad + Luz Planta. [8]

2.1.1.10. Sensor Tester Medidor Solar Ph + Humedad + Luz Planta Jardín

El medidor tester de PH, Luz y Humedad de la tierra se considera como una herramienta ideal para cultivos. Tiene tres funciones en una ya que mide humedad, luz del ambiente y Ph.

Su longitud de sonda es de 20 cm, por eso se puede utilizar para plantas de interior y exterior, jardines y césped. Para mantener las plantas en mejores condiciones, este sensor se caracteriza por la ventaja de poder ahorrar agua y energía, midiendo la humedad al nivel de la raíz.



Su uso es fácil ya que basta con insertar el medidor en el suelo, no necesita batería y su material tiene una alta durabilidad.

Para medir la humedad se pone el interruptor en la posición Moist y se ve la desviación de la aguja en la escala Dry/Wet para comprobar la humedad siendo el valor normal entre 4 y 7.

En cuanto a la luz, se pone el interruptor en la posición Light y se ve la desviación de la aguja en la escala Dark/Light, siendo el valor normal entre 600 y 1000 Lu.

Y, finalmente, para la acidez o alcalinidad, se mide el pH poniendo el interruptor en la posición pH y se ve la desviación de la aguja en la escala Alkaline/Acid comprobando el grado de alcalinidad o acidez siendo el normal de 6,7 a 7,2.

En cuanto a algunas de sus características, su longitud de sonda es de 20 cm. Las dimensiones del medidor son de 5 x 8 x 3,5 cm, el diámetro de la sonda (Bronce) es de 4,8 mm, el diámetro de la sonda (Plata) es de 5,1 mm, y la distancia entre sondas es de 1,2 cm. (Figura 2-22).



Figura 2-22: Representación del tamaño del Sensor Tester Medidor Solar Ph + Humedad + Luz Planta Jardín



Figura 2-23: Sensor Tester Medidor Solar Ph + Humedad + Luz Planta Jardín

Estos sensores de luz y de humedad del suelo parecen muy eficaces. Permiten conocer el estado de la planta e informar de su crecimiento y evolución, pero no proporcionan todo el conjunto de información que sería deseable y tampoco dispone de aplicaciones, ni de página web para poder visualizar los datos medidos y procesar los resultados obtenidos.

2.1.1.11. Kit Arduino para regar las plantas

Randy Sarafan es el creador de este sistema de riego autónomo basado en un kit Arduino, que detecta automáticamente cuando las plantas “tienen sed”, para regarlas inmediatamente con la cantidad de agua que necesiten (Figura 2-24).

El kit de montaje consiste en una fuente de agua y una toma eléctrica a la que conectar el sistema. Como es totalmente autónomo, para saber cuándo las plantas necesitan aporte de agua, se introducen en la tierra unos sensores de humedad que le indican a la placa Arduino cuándo debe poner en funcionamiento el sistema de riego.

El sistema está alimentado con una simple pila de 9v (la bomba de agua necesita alimentación aparte) y construido con muy bajo coste.



Figura 2-24 : Kit Arduino

Este sistema parece muy interesante, pero no tiene ninguna plataforma que permita visualizar los datos y tampoco dispone de ningún sistema de procesamiento de los resultados obtenidos. De hecho no dispone de los sensores que usa nuestro sistema, y eso perjudica a los resultados obtenidos, porque el riego nunca va a ser óptimo, ya que se utiliza solo un tipo de sensores.

2.1.2. Conclusiones del análisis realizado

Del análisis realizado sobre los diferentes productos relacionados con la idea que se desarrolla en este proyecto y que se encuentran actualmente en el mercado, resultan dos datos evidentes:

1) La multiplicidad de productos tecnológicos existentes, lo cual refuerza los argumentos que motivan la elección de esta idea como proyecto.

2) La ausencia de un producto tecnológico de última generación que abarque las mejores funciones encontradas en diferentes productos y que, a su vez, complete la gestión integral en tiempo real, con aquellas otras funciones de las que carecen.

Lo que muestran los resultados del análisis de mercado, es, en definitiva, el acierto que supone la creación y desarrollo de un sistema tecnológico de gestión integral que controle todos y cada uno de los parámetros que se precisan para gestionar de forma óptima una plantación y ofrezca una aplicación práctica, eficaz y en tiempo real, que elimina la necesidad de utilizar gran parte de personal presencial.



En consecuencia, los resultados obtenidos del análisis efectuado avalan de forma realista las motivaciones que generan la idea básica del estudio y desarrollo del ***Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Utilizando Bases De Datos No Relacionales E Inteligencia Artificial***, que se muestra en este informe.

Desde el punto de vista de la viabilidad comercial de la aplicación como producto que debe lanzarse al mercado que le corresponde, también los resultados del análisis ofrecen datos positivos, como la posibilidad de una oferta singular que no solo abarca todo lo que ofrecen los productos de la competencia, sino que lo complementa y completa con todos aquellos datos y mejoras que representan la posibilidad de una oferta innovadora, eficaz y única.

La Figura 2-25, que se muestra en la página siguiente, ofrece la síntesis de los resultados obtenidos del estudio de los datos aportados por el análisis de mercado realizado.

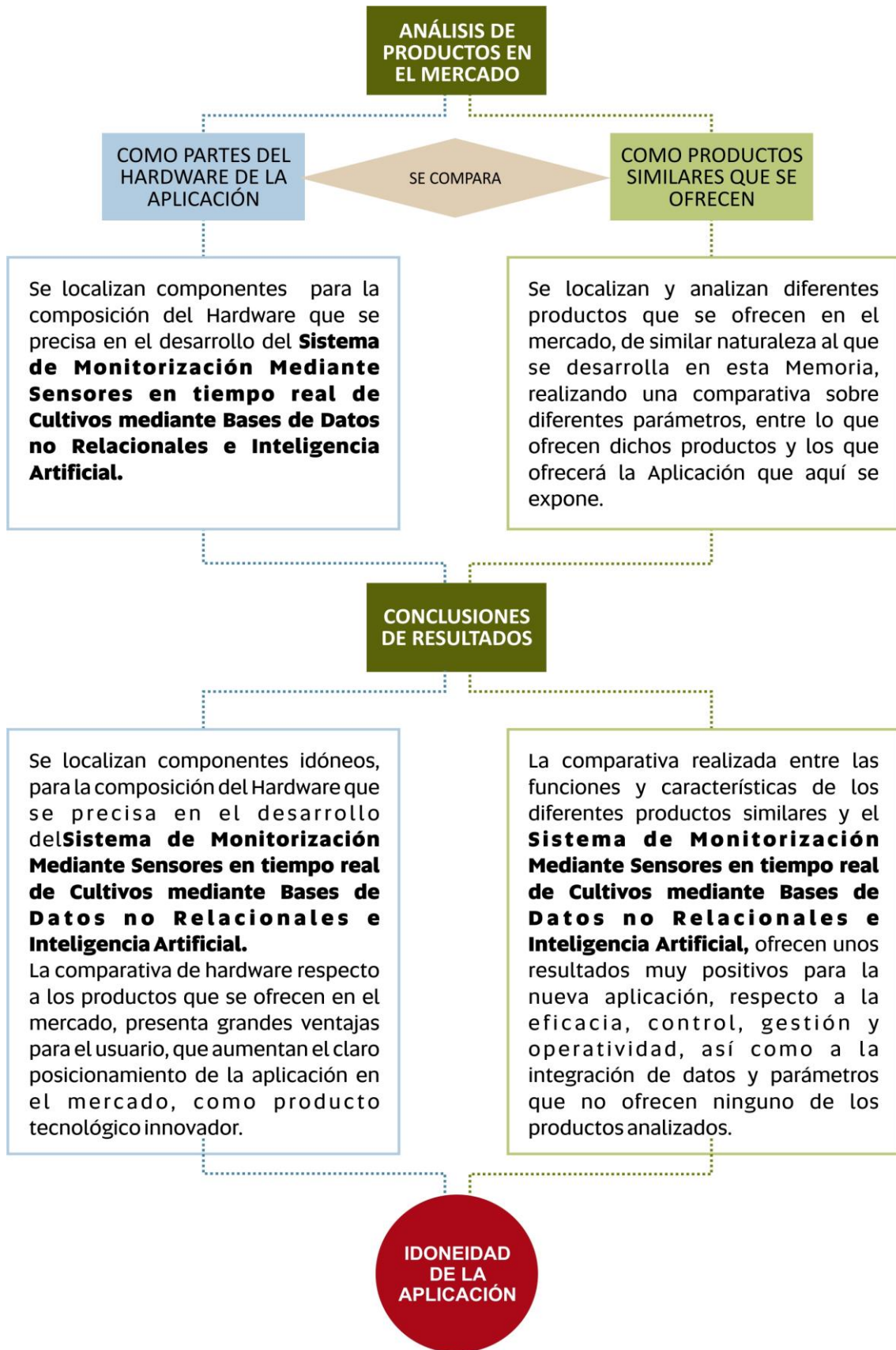


Figura 2-25: la síntesis de los resultados obtenidos del estudio de los datos aportados por el análisis de mercado realizado.



El análisis de los productos similares a la aplicación que aquí exponemos ofrece la posibilidad de adecuar nuestra aplicación de forma que pueda ser ofertada en otros nichos de mercado, quizás de menor entidad como aportación social, pero de una gran importancia comercial. Sin olvidar las aportaciones medioambientales que también ofrecería la aplicación a estos sectores de mercado.

De tal forma, que el Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Utilizando Bases De Datos No Relacionales E Inteligencia Artificial, desarrollada con las oportunas modificaciones de diseño y programación, se podría ofrecer al sector público para grandes zonas ajardinadas, o al ámbito privado, para jardines y pequeñas plantaciones.



CAPÍTULO 3.

DISEÑO



3. DISEÑO

3.1. Punto de partida

En este apartado se explican los diferentes aspectos de diseño tecnológico del Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Utilizando Bases De Datos No Relacionales E Inteligencia Artificial.

3.1.1. Una aplicación práctica

El punto de partida para llevar a cabo el desarrollo del diseño tecnológico de la aplicación, se ha basado en ofrecer a los usuarios un sistema eficaz, pero práctico y de sencillo manejo, que, además de solucionar cualquier problema de gestión integral de la plantación en tiempo real, no requiera de una maniobra de gran complejidad para conseguirlo. El sistema propuesto deberá, por tanto, desarrollarse de manera que los usuarios puedan manejarlo de forma sencilla e intuitiva.

En consecuencia, toda la complejidad tecnológica que pueda acompañar a la aplicación, deberá estar “escondida” para el usuario, que podrá manejarla a través de interfaces de fácil comprensión y uso, ya sea un ordenador, una Tablet o un Smartphone.

Por tanto, el diseño tecnológico deberá partir de este condicionante y después deberá ser planteado en los diseños de pantallas y protocolos que utilizarán los usuarios.

3.1.2. Diseño de funciones

El segundo aspecto que se ha tenido en cuenta en el diseño tecnológico de la aplicación, es, si cabe, aún más importante que el anterior. Se trata de dotarla con el mayor número de funciones posible que cubran todas y cada una de las necesidades de control integral de las plantaciones, que se precisen para la óptima gestión en tiempo real.

Este es el factor primordial que hará del sistema propuesto un producto único en el mercado tecnológico actual. Esto representa no solo una solución adecuada a una



parte de un problema de enorme importancia, sino una garantía de la viabilidad del proyecto que se expone en esta Memoria.

Las funciones que contenga nuestra aplicación deberán cubrir todas las necesidades que puedan plantearse en una plantación agrícola de cualquier naturaleza: control de parámetros de humedad, de temperatura, de viento, de ambiente cercano, de nutrientes, de hojas, de frutos... Y todo ello, con la posibilidad inmediata de modificación o gestión de dichos datos mediante comandos adecuados, sencillos e inteligibles.

Estas funciones se han tenido en cuenta en el desarrollo de la aplicación, considerando además la posibilidad de añadir aquellas que cada cliente precise de forma individual debido a las características singulares de una plantación.

La Figura 3-1 muestra gráficamente el esquema utilizado como base para el desarrollo de las funciones principales que debe abarcar el sistema propuesto.

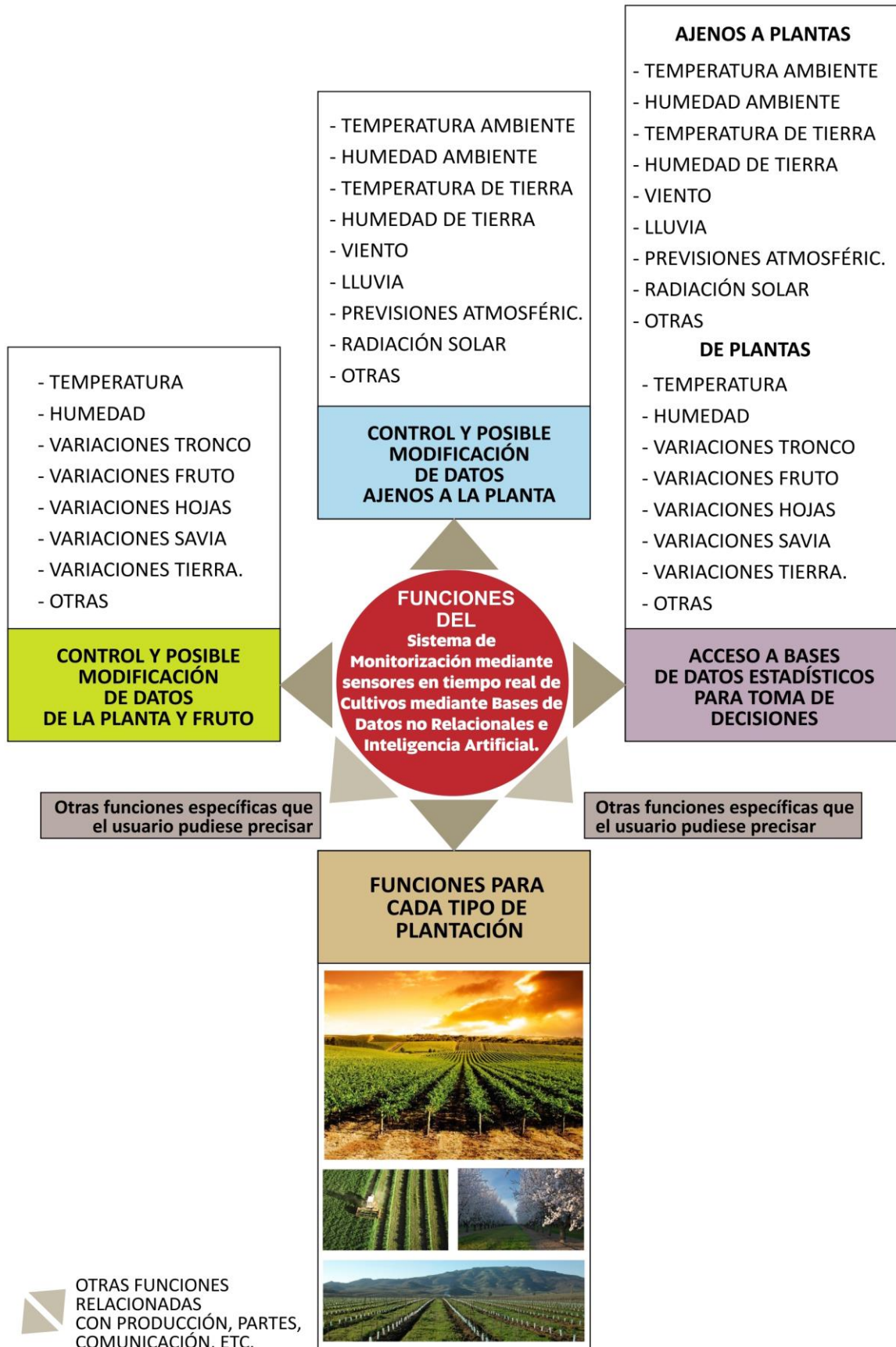


Figura 3-1: Esquema utilizado como base para el desarrollo de las funciones principales que debe abarcar el sistema.



3.1.3. Aplicación tecnológica puntera

La tercera base sobre la que deberá asentarse el diseño tecnológico del sistema propuesto es la que marca su desarrollo bajo la utilización de las tecnologías más avanzadas, eficaces e innovadoras. Esta será una condición esencial a cumplir en el diseño de la aplicación, que tiene por objeto, no solo el óptimo funcionamiento de la aplicación, sino su resistencia en el tiempo, que supone una buena inversión para los usuarios, al ver rentable su periodo de amortización.

La exagerada obsolescencia de la mayoría de los productos tecnológicos que se lanzan al mercado es uno de los factores que generan hoy mayor desconfianza y rechazo en los consumidores potenciales. En consecuencia, uno de los condicionantes que se ha tenido en cuenta para realizar el diseño tecnológico de la aplicación ha consistido en la utilización de tecnologías de última generación, que no solo aumentan considerablemente la eficacia sino que ofrecen a los usuarios un largo periodo de vida útil.

3.1.4. La rentabilidad

Dado que este trabajo se realiza como un ejemplo extrapolable a la realidad profesional, hemos tenido en cuenta su viabilidad, también desde el punto de vista de la rentabilidad, enfocada desde dos ángulos distintos:

- Rentabilidad como producto que puede ofrecer ventajas en este sentido, a los clientes potenciales de la aplicación, en el mercado que corresponde a las empresas de explotación agrícola.
- Como producto de posible comercialización para una empresa del sector tecnológico, que deberá obtener la rentabilidad necesaria, para abordar su desarrollo, distribución y venta.

Aunque este tipo de trabajo corresponde a especialistas en marketing empresarial, hemos realizado un ejercicio básico en este sentido, que se muestra en el Capítulo 4 de esta Memoria, para contar, al menos, con la garantía de no cometer un error en este sentido, que haría inviable la producción de la aplicación como producto de lanzamiento al mercado.



CAPÍTULO 4.

DESARROLLO



4. DESARROLLO

4.1 Desarrollo tecnológico de la aplicación.

A continuación definimos el proceso que se ha llevado a cabo para desarrollar tecnológicamente la aplicación propuesta de manera que el sistema funcione de forma óptima y en concordancia con los objetivos que se persiguen.

El desarrollo tecnológico se divide en dos partes:

La primera consiste en la definición de la parte **Hardware**, es decir, los componentes de su estructura física.

La segunda parte consiste en el desarrollo **Software o aplicación web**, es decir, el conjunto de programas que forman parte de las operaciones del sistema.

Para ello, se describirá tanto la placa como la aplicación web a lo largo de este apartado.

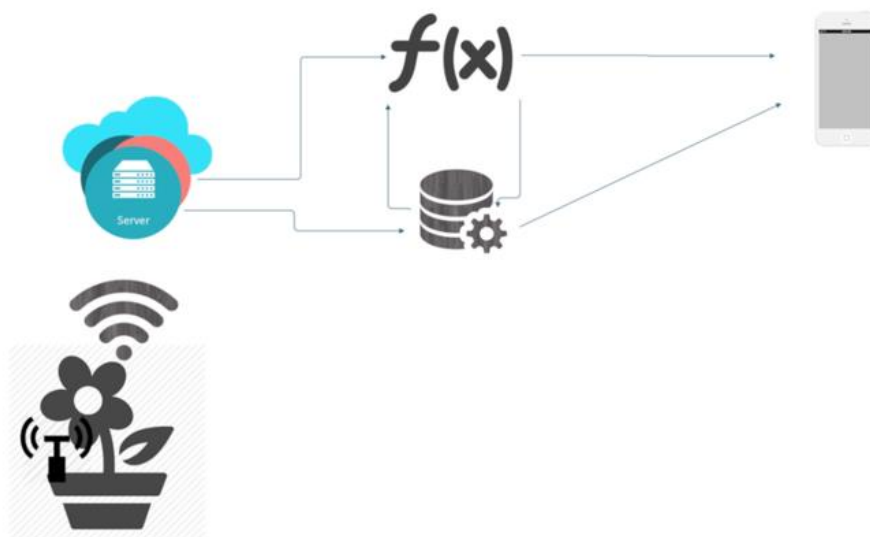


Figura 4-1: Diagrama de la Arquitectura Software del sistema propuesto

El primer problema con el que nos topamos a la hora de desarrollar el proyecto fue la entrada de datos. Hemos utilizado tres sensores para monitorizar el estado de salud de la planta:



- Sensor de luminosidad
- Sensor de humedad en tierra
- Sensor de temperatura.

Estos 3 sensores tienen una salida analógica, pero la Raspberry solo cuenta con entradas digitales. Para solventar este problema recurrimos al conversor Delta Sigma Pi. Este conversor se monta directamente sobre el puerto de GPIOs de la Raspberry y a través del software que proporciona el fabricante de manera gratuita en Github, podemos empezar a muestrear voltajes analógicos.

Los sensores de temperatura y luminosidad han requerido del diseño e implementación de dos circuitos específicos. En ambos casos se ha tratado de un divisor de tensión básico por lo que no procede su detalle en este proyecto.

Todos estos procesos han sido diseñados y programados en el lenguaje Python. Para realizar la medición de cada sensor se ha programado la función “leeVoltaje” que recibe como argumento el canal que queramos leer. En nuestro caso el sensor de humedad está colocado en el canal 1, el sensor de luminosidad en el canal 7 y el sensor de temperatura en el canal 4. Estos canales no tienen que estar colocados de esta manera específicamente pero han sido ubicados así para mayor comodidad a la hora de soldar los componentes. (Figura 4-2)

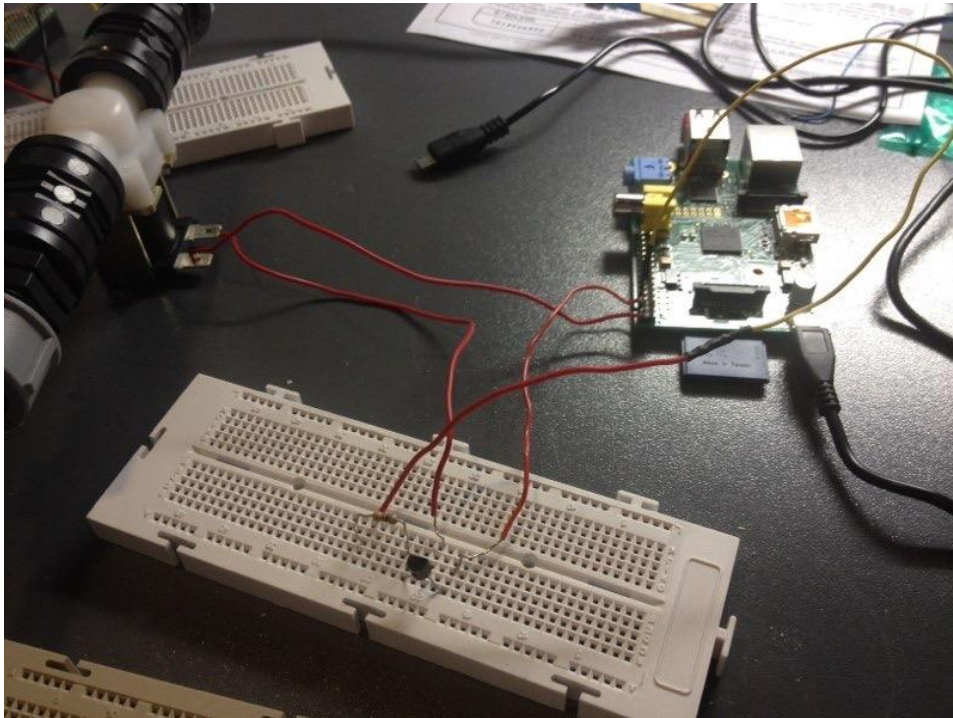


Figura 4-2: Conexiones Raspberry Pi, válvula y sensores

4.1.1 Hardware y Conexiones con la placa

Para el desarrollo del sistema de monitorización de plantas y cultivos se han utilizado diferentes componentes que se describen a continuación.

4.1.1.1 Raspberry Pi

Se ha usado como base para el desarrollo del sistema el dispositivo Raspberry Pi [9] que es un ordenador de placa reducida de bajo coste, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

El diseño de la Raspberry Pi incluye un System-on-a-chip Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central (CPU) ARM1176JZF-S a 700 MHz, un procesador gráfico (GPU) VideoCore IV, y 512 MiB de memoria RAM (en modelos anteriores eran 256 MiB).

La Raspberry Pi tiene las siguientes características:

- CPU ARM 1176JZF-S a 700 MHz.
- Juego de instrucciones RISC de 32 bits.



- GPU (Unidad de procesamiento gráfico) Broadcom VideoCore IV
- Memoria (SDRAM) de 256 MB (compartidos con la GPU)
- 1 puerto USB
- Entradas de vídeo: conector MIPI CSI que permite instalar un módulo de cámara desarrollado por la RPF
- Salidas de vídeo: Conector RCA (PAL y NTSC), HDMI e interfaz DSI para un panel LCD
- Salidas de audio: conector de 3,5mm, HDMI
- Almacenamiento: tarjetas SD/MMC/ranura para SDIO
- Periféricos de bajo nivel: 8 GPIO, SPI, I2C y UART.
- Sistemas operativos: GNU/Linux: Raspbian (debian hecho a medida), Fedora (Pidora), Arch Linux.

El diseño de la placa no tiene incluido ninguna unidad de estado sólido ni disco duro, ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento permanente. Tampoco incluye fuente de alimentación ni carcasa (Figuras 4-3 y 4-4).



Figura 4-3: Raspberry Pi.

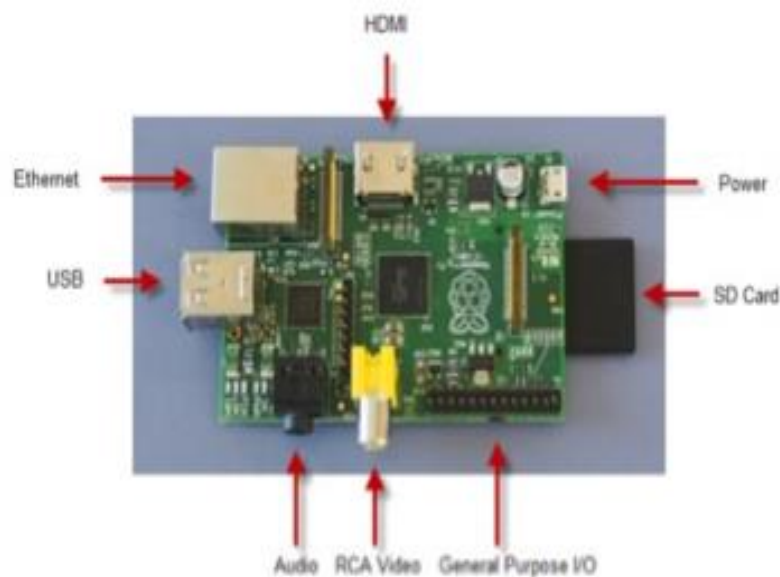


Figura 4-4: Componentes de la Raspberry Pi.

El modelo A de la Raspberry Pi solo tiene un puerto USB, carece de controlador Ethernet y tiene un coste menor que el modelo B de la misma placa, el cual tiene dos puertos USB y controlador Ethernet 10/100. Por otro lado, a ambos modelos se les puede conectar un adaptador Wi-Fi por USB, para tener acceso a redes inalámbricas o internet. El sistema cuenta con 256 MiB de memoria RAM en su modelo A, y con 512 MiB de memoria RAM en su modelo B. Como es típico en los ordenadores modernos, se pueden usar teclados y ratones con conexión USB compatible con Raspberry Pi (Figura 4-3).

Raspberry se alimenta con 5V mediante un conector micro USB. La corriente que la Raspberry requerirá dependerá de qué periféricos se le conecten. Si no se conecta ningún periférico solo requerirá 500mA, siendo la máxima corriente admitida de 1A. Si se necesitara conectar algún dispositivo USB que requiera más de 1A, se deberá conectar a un USB hub con alimentación propia.

Los periféricos de bajo nivel GPIO solo podrán entregar 500mA distribuidos entre todos los pines para evitar dañar la Raspberry. Un solo GPIO como máximo puede entregar 16mA.

Para nuestro caso se ha usado el modelo B (Figura 4-3) en el desarrollo del sistema, porque la Raspberry Pi Modelo B tiene bastantes conectores que permiten cierta flexibilidad al usuario y si no hay disponible una pantalla HDMI, siempre se puede usar



la salida de video RCA. Su alimentación es tan sencilla como conectarle el adaptador micro-USB de un teléfono.

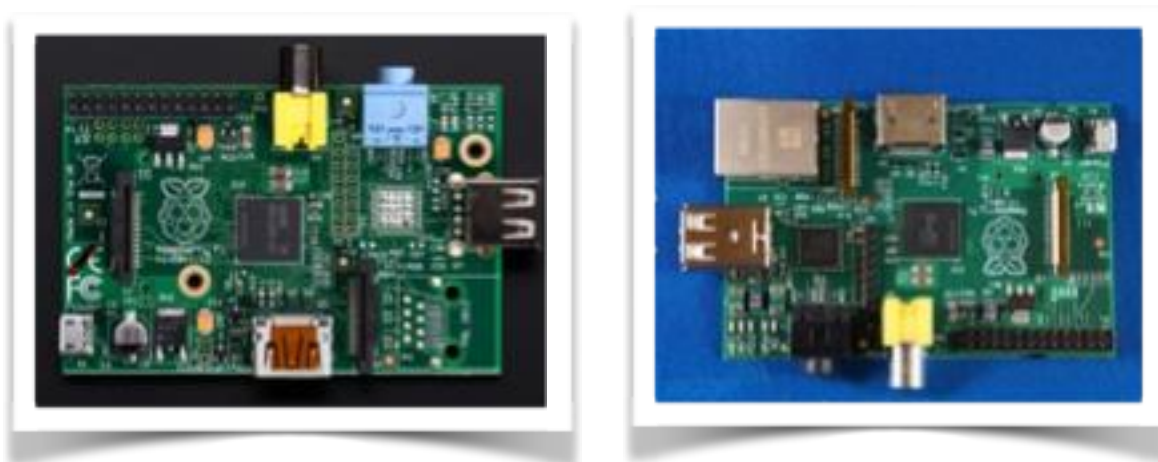


Figura 4-5: Modelos “A” y “B” de la Raspberry Pi respectivamente.

Se ha usado el Raspbian como sistema operativo. El Raspbian es una distribución derivada de Debian que está optimizada para el hardware de la Raspberry Pi y es la distribución recomendada por el fabricante para iniciarse.

Gracias a la comunidad de desarrolladores cuenta con 35.000 paquetes software disponibles para instalar gratuitamente. Dispone de una interfaz gráfica para facilitar la configuración del sistema operativo en su instalación sin tener que modificar los archivos de configuración manualmente. Esta herramienta gráfica incorpora un gestor de particiones, permite la configuración del teclado, aplicar overclock, etc.

Además del Raspbian, existen otros sistemas operativos compatibles con la Raspberry, tal como:

- Fedora remix: distribución Linux para Raspberry Pi.
- OpenELEC
- RaspBMC: versión adaptada de XBMC para Raspberry. Es utilizado en otros sistemas reducidos como Vero y Apple TV.
- Risc OS: a diferencia que todos los anteriores, Risc OS no es una versión de Linux (ni de Windows).
- ArchLinux.



Para el proceso de creación de la tarjeta SD se necesitan conocimientos básicos de Linux y también es muy importante seguir las instrucciones proporcionadas en un manual de la misma placa. La distribución viene con algunas aplicaciones preinstaladas, así como los navegadores de internet Midori, Dillo y NetSurf y herramientas de programación como IDLE para Python, Scratch y Squeak. (Figura 4-6).



Figura 4-6: Instalación de la Raspberry Pi.

La Raspberry Pi no viene con reloj en tiempo real por lo que el sistema operativo debe usar un servidor de hora en red, o pedir al usuario la hora en el momento de arrancar el ordenador.

En definitiva, se ha utilizado el mini ordenador Raspberry Pi Modelo B porque es un dispositivo que presenta grandes ventajas sobre otros posibles y excepcionales características para los objetivos que perseguimos, resultando muy cómodo para el desarrollo de nuevas aplicaciones y el buen funcionamiento de multitud de sistemas.

4.1.1.2 Conversor Delta Sigma Pi

El Delta Sigma Pi [10] es un conversor de analógico a digital de 8 canales, diseñado para usar en la plataforma informática Raspberry Pi.

El conversor A/D está basado en el chip MCP3432 de bajo ruido y alta precisión de 18 bits.

El tablero incluye dos convertidores MCP3424 junto con una interfaz I2C búfer que permite conectar dispositivos I2C 5V adicionales al mismo bus.



El MCP3424 tiene un voltaje de referencia de 2.048V a bordo con un rango de entrada de $\pm 2.048V$ diferencialmente (rango de escala completa de 4.096V / PGA). Un amplificador de ganancia programable proporciona al usuario una ganancia seleccionable de x1, x2, x4 o x8 antes de la conversión de analógico a digital.

La velocidad de datos para las conversiones de analógico a digital es 3,75 (18 bits), 15 (16 bits), 60 (14 bits) o 240 (12 bits) muestras por segundo. La tasa y resolución de datos se pueden configurar dentro del software usando la interfaz I2C.

En las características del conversor Delta Sigma Pi encontramos que se controla a través del puerto Raspberry Pi I2C, permite un acoplamiento de hasta 4 tablas Delta-Sigma Pi en una sola Raspberry Pi y tiene un puerto buffer 5V I2C basado en el MCP3424 de Microchip Technologies Inc., diferencial gama a gran escala de 4.096V, de tensión de referencia 2.048V (Precisión $\pm 0,05\%$, Drift: 15 ppm / ° C) y también contiene un amplificador de ganancia.

En cuanto al diseño de la placa, en sus entradas analógicas las ganancias son de 1, 2,4 y 8. (Figura 4-7)

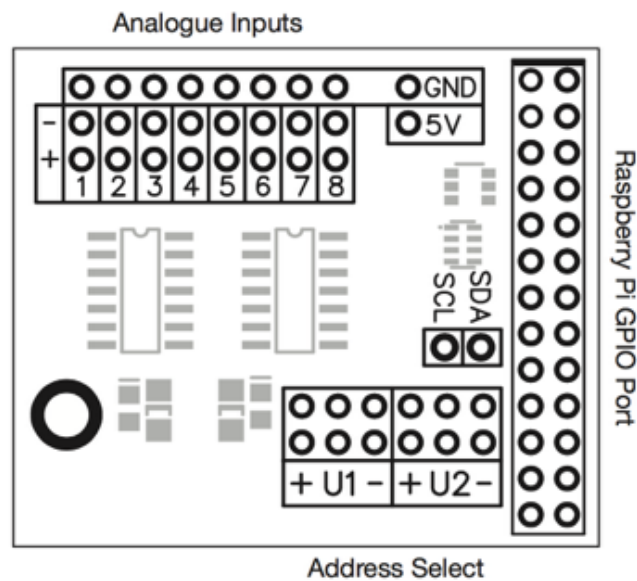


Figura 4-7: Diseño del conversor delta sigma Pi. Fuente [10]



4.1.1.3 Configuración de la Raspberry Pi y su conexión con el conversor Delta sigma Pi

En primer lugar se ha descargado la imagen del Sistema operativo Raspbian basada en debian. Una vez tenemos el archivo .img ha sido necesario montar la imagen en la memoria SD. Para ello, se ha descargado el programa "win32diskimager" y se ha extraído para ejecutarlo. Luego, se ha seleccionado el archivo .img de Raspbian y se ha asegurado que la unidad de escritura es la correcta. De no ser así se borrarán todos los datos de esa unidad. Después, se ha pulsado el botón 'Write' y se ha esperado a que termine. Una vez se ha terminado este proceso significa que la Raspberry Pi ya está preparada.

Para controlar la Raspberry Pi se ha conectado un teclado y ratón por USB y un monitor, ya sea por HDMI o por RCA. Esto nos permite trabajar desde nuestro PC y conectar los mínimos dispositivos a la Raspberry Pi. Por lo tanto, se ha alimentado la Raspberry Pi con un cargador micro-USB que de al menos 0.7A. Se ha comprobado cuál es la dirección IP de la raspberry. Sin embargo, esto se puede hacer de dos formas: entrando en el router de casa y viendo qué IP se le ha asignado o conectándole un teclado y pantalla a la Raspberry y tecleando el comando "ifconfig". Después de realizar los pasos de configuración se ha usado Ubuntu que viene por defecto y una vez se ha iniciado, se ha abierto un terminal. La contraseña que pide el sistema es siempre 'raspberry'.

Para la configuración de la placa, aparece el menú de la figura 4-8. Las diferentes opciones se configuran de la siguiente manera:

- 1 "configure_keyboard": Permite configurar el teclado. Esto se utiliza en caso de hacer uso de la Raspberry Pi directamente.
- 2 "change_pass": Se usa para cambiar la contraseña por defecto.
- 3 "change_timezone": Se usa para elegir la zona horaria.
- 4 "ssh": Hay que dar a enable aunque se supone que ya está activado.
- 5 "boot_behaviour": Se selecciona si se quiere que por defecto la Raspberry Pi inicie el escritorio gráfico.



- 6 “memory_split”: Sirve para cambiar la asignación de memoria gráfica y de uso normal. En el caso de este proyecto no se ha tocado.
- 7 expand_rootfs: Sirve en caso de tener una SD de más de 2GB. Nos permite es usar toda su capacidad, ya que por defecto al grabar la imagen nos limita la capacidad a 2GB.

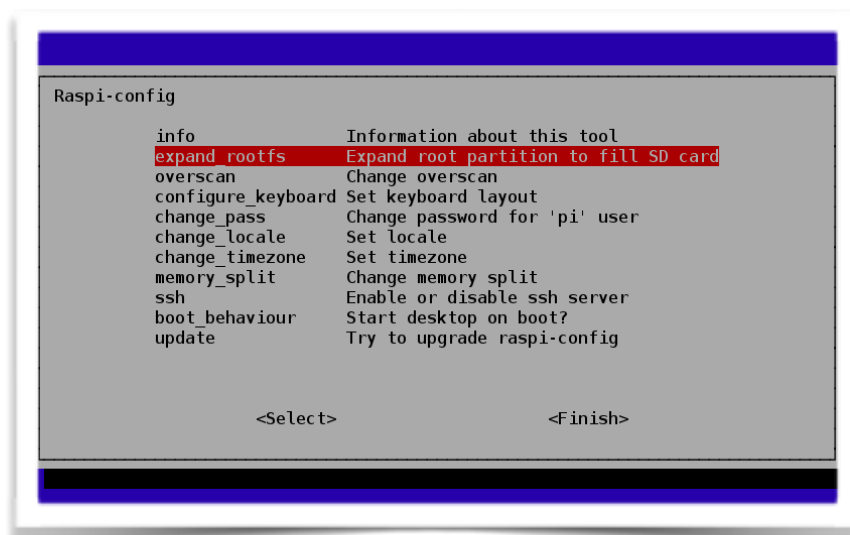


Figura 4-8 : Configuración de Raspberry pi

Para finalizar la configuración necesaria y básica de la Raspberry Pi, se le da a ‘Finish’ y la Raspberry Pi se reinicia para que esté 100% operativa.

La Raspberry Pi sólo puede dar valores analógicos, para ello se le conecta el conversor Delta-Sigma Pi y se instala Python [11, 12], con el fin de poder leer los valores digitales recogidos por los sensores de temperatura, luz y humedad de suelo. Una vez conectados, se realiza el programa para poder leer del ADC al cual le asignamos un bitrate de 14, que tiene como referencia 3.3V y es de 10 bits, dado que el máximo valor es 1023 que corresponde a 3.3V. (Figura 4-9)

```
21 # -----
22 # ADC
23 # -----
24
25 def iniciaADC():
26     adc = ADCPi(0x68, 0x69, 18)
27     adc.setBitRate(14)
28     adc.setPGA(1)
29     return adc
30
31 def leeVoltaje(canal):
32     return adc.readVoltage(canal)
33
```

Figura 4-9: Lectura de ADC



Para instalar la Delta-Sigma Pi se presiona simplemente el conector de 26 pines hacia abajo sobre los pasadores de Raspberry Pi GPIO con la junta situada en la parte superior de la Raspberry Pi como se muestra en la Figura 4-10.

Si se instala más de un Delta-Sigma Pi en una sola tarjeta Raspberry Pi, entonces se procede a seleccionar las direcciones de los puentes para cada Delta-Sigma Pi.

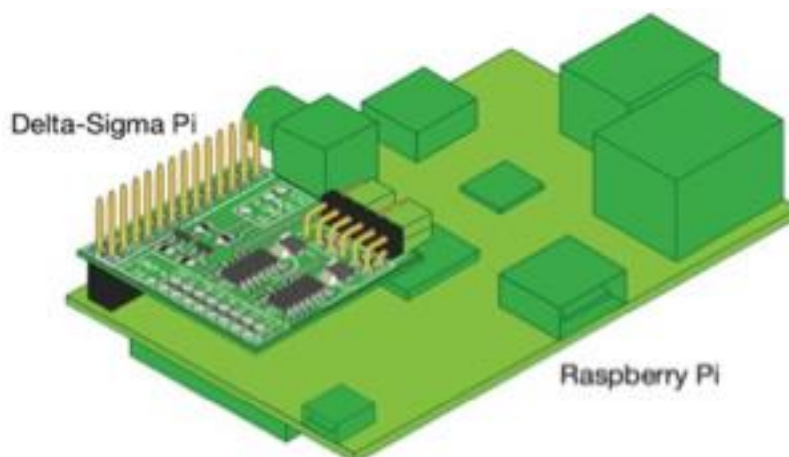


Figura 4-10: Localización del conversor delta sigma Pi en la Raspberry Pi. Fuente [10]

El convertidor MCP3424 de analógico a digital contiene dos selectores de pines de dirección que pueden estar vinculados a Vas o Ved. Esto da 8 posibles direcciones I2C para cada chip. El Delta-Sigma Pi contiene dos chips MCP3424 para que pueda apilar hasta 4 tablas Delta-Sigma Pi en una sola Raspberry Pi. Para simplificar la selección de la dirección de la Delta-Sigma Pi encontramos incluido un conjunto de clavijas de selección de direcciones que se pueden configurar mediante los puentes incluidos.

Las Figuras 4-11, 4-12, 4-13 y 4-14 muestran las cuatro configuraciones recomendadas para el Delta-Sigma Pi y las direcciones I2C asociadas.

Configuración 1:

Canales analógicos 1-4 = I2C Dirección: 0x68

Canales analógicos 5-8 = I2C Dirección: 0x69

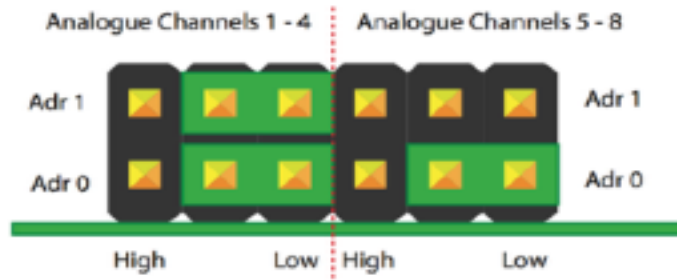


Figura 4-11: Configuración 1 para Delta-Sigma Pi y las direcciones I2C asociados. Fuente [10]

Configuración 2:

Canales analógicos 1-4 = I2C Dirección: 0x6A

Canales analógicos 5-8 = I2C Dirección: 0x6B

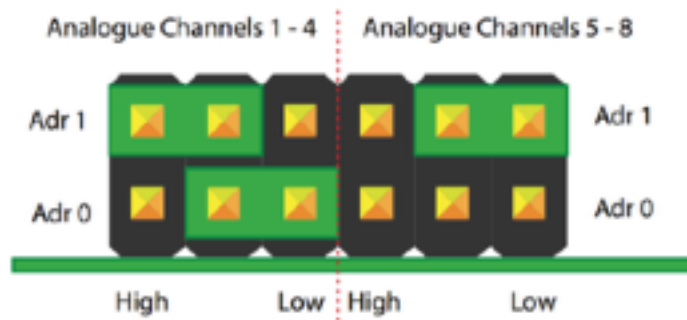


Figura 4-12: Configuración 2 para Delta-Sigma Pi y las direcciones I2C asociados. Fuente [10]

Configuración 3:

Canales analógicos 1-4 = I2C Dirección: 0x6C

Canales analógicos 5-8 = I2C Dirección: 0x6D

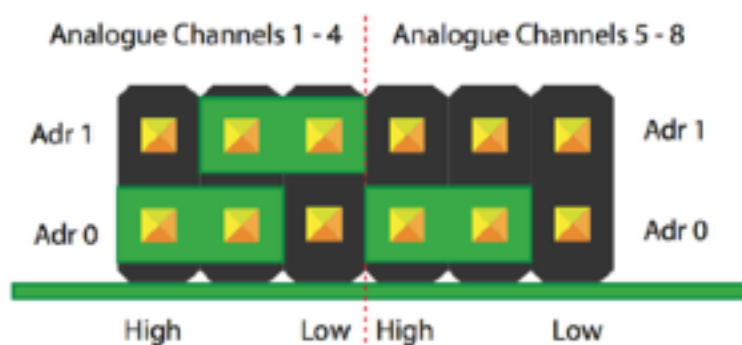


Figura 4-13: Configuración 3 para Delta-Sigma Pi y las direcciones I2C asociados. Fuente [10]



Configuración 4:

Canales analógicos 1-4 = I2C Dirección: 0x6E

Canales analógicos 5-8 = I2C Dirección: 0x6F

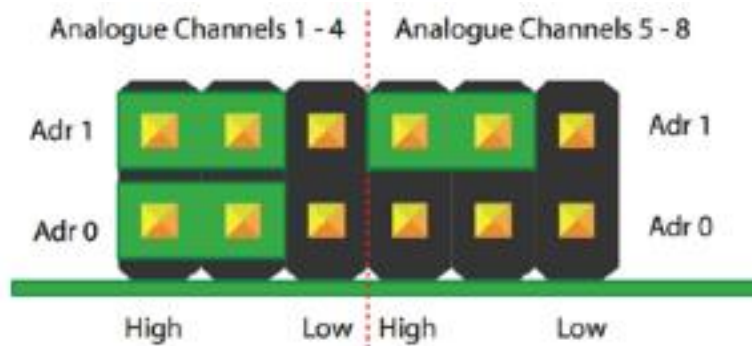


Figura 4-14: Configuración 4 para Delta-Sigma Pi y las direcciones I2C asociados. Fuente [\[10\]](#)

Usando Python se crea una matriz de bytes y se rellena con valores iniciales para definir el tamaño. Después se detecta el número de puerto I2C y se asigna al bus I2C. Además, se crea el método interno para ajustar el valor de un solo bit dentro de un byte y leer el valor de un solo bit dentro de un byte dentro de la Delta Sigma Pi. La Figura 4-15 muestra cómo se realiza la configuración de canales.

```
75 def __setchannel(self, channel):
76     # internal method for updating the config to the selected channel
77     if channel < 5:
78         if channel != self.__currentchannel1:
79             if channel == 1:
80                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 5, 0)
81                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 6, 0)
82                 self.__currentchannel1 = 1
83             if channel == 2:
84                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 5, 1)
85                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 6, 0)
86                 self.__currentchannel1 = 2
87             if channel == 3:
88                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 5, 0)
89                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 6, 1)
90                 self.__currentchannel1 = 3
91             if channel == 4:
92                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 5, 1)
93                 self.__config1 = self.__updatebyte(self.__config1, 6, 1)
94                 self.__currentchannel1 = 4
95         else:
96             if channel != self.__currentchannel2:
97                 if channel == 5:
98                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 5, 0)
99                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 6, 0)
100                    self.__currentchannel2 = 5
101                 if channel == 6:
102                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 5, 1)
103                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 6, 0)
104                    self.__currentchannel2 = 6
105                 if channel == 7:
106                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 5, 0)
107                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 6, 1)
108                    self.__currentchannel2 = 7
109                 if channel == 8:
110                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 5, 1)
111                     self.__config2 = self.__updatebyte(self.__config2, 6, 1)
112                    self.__currentchannel2 = 8
113             return
```

Figura 4-15: Configuración 2 y 1 para Delta-Sigma Pi



4.1.1.4 Sensores: Procesado de medidas y lectura de datos

Un sensor o captador es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se implementan utilizando componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR,...) que varían su magnitud en función de alguna variable así como componentes activos.

En este proyecto se han elegido tres tipos de sensores para la realización de las medidas adecuadas para lograr que el sistema funcione correctamente consiguiendo unos óptimos resultados de funcionamiento.

4.1.1.4.1 Temperatura

La temperatura es un elemento esencial en el cultivo y desarrollo de las plantas, junto con los niveles de luz, dióxido de carbono, humedad del aire, agua y nutrientes. La temperatura influye en gran medida en el crecimiento de la planta y, por tanto, en la productividad de las cosechas.

Todos estos factores deberían estar equilibrados. La temperatura afecta a la planta tanto a corto como a largo plazo y se debe tener en consideración este factor, desde dos distintas variables: la de la propia planta y la del ambiente.

La temperatura de la planta y la del ambiente no son iguales porque las plantas son capaces de enfriarse por evaporación y de calentarse por irradiación. Las plantas buscan alcanzar su temperatura óptima, para lo que es muy importante que exista un equilibrio entre la temperatura ambiental, la humedad relativa y la luz.

Si los niveles de luz son altos, la planta se calentará demasiado, produciéndose una diferencia entre la temperatura ambiental y la de la planta. Para enfriarse, el índice de transpiración de la planta deberá aumentar.

Al igual que ocurre con la temperatura, el índice de transpiración depende de condiciones medioambientales como la luz, el nivel de CO₂ en la atmósfera y la humedad relativa, pero también de la especie de la planta (Figura 4-16).



Figura 4-16: Proceso de la transpiración vegetal. Fuente: Google imágenes

La temperatura tiene una importancia fundamental en numerosos procesos industriales. Por ello, es imprescindible disponer de una medición precisa, mediante un sensor de temperatura, que garantiza una salida continua en función de la temperatura real del sistema, lo que permite controlar por completo el proceso.

4.1.1.4.1 Sensor de Temperatura LM35

El LM35 [13] es un sensor de temperatura de tipo integrado, que basa su funcionamiento en la sensibilidad de los componentes del circuito a la temperatura. Ofrece una señal de salida en voltaje y lleva un encapsulado TO-92 tipo transistor (Figura 4-17).

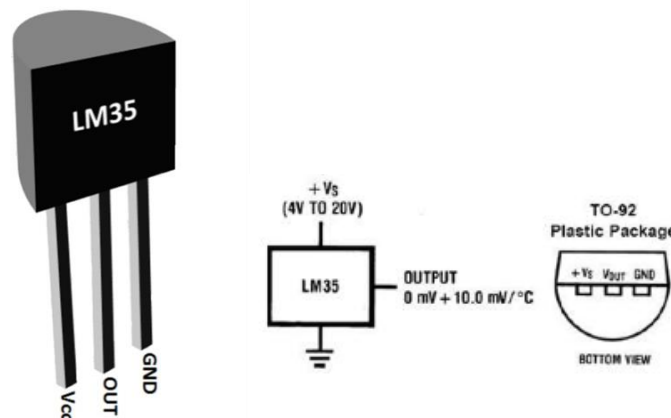


Figura 4-17: Sensor de Temperatura LM35. Fuente: Google imágenes

Este sensor está calibrado de fábrica con una precisión de 1°C y es capaz de tomar lecturas entre -55°C y 150°C , teniendo en cuenta que este tipo de sensores ofrecen una precisión de $\pm 1.4^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente. Además de ello, son del tipo lineal;



es decir, que no es necesario forzar al usuario a realizar conversiones debido a que otros sensores están basados en grados Kelvin. También consta solo de 3 patillas, dos de alimentación y otra que nos entrega la lectura tomada. Lo hace de forma lineal, cada grado que sube la temperatura son 10mV más en esta salida.

El LM35 viene calibrado de fábrica, por lo que no necesita ningún circuito externo para hacerlo funcionar. Esta característica, unida a su simplicidad, hace que sea extremadamente sencillo añadirlo en cualquier montaje (Figura 4-18).

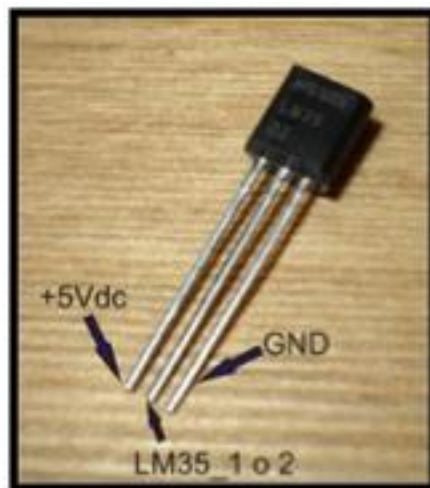


Figura 4-18: Características del sensor de temperatura LM35.

Un LM35 puede funcionar a partir de los 5 V (en corriente continua), tanto con alimentación simple o como con doble alimentación (+/-).

Sus características más importantes se describen a continuación:

- Configurado para ser leído en grados Celsius
- Factor de escala lineal de +10 Mb / pc
- Rango de trabajo entre -55 pc hasta 150 pc
- Apropiado para aplicaciones remotas
- Bajo costo
- Funciona con tensiones entre 4 V hasta 30 V
- Menos de 60 u de consumo
- Baja impedancia de salida, 0.1 W, para cargas de 1 mal



Se ha utilizado este sensor para el tratamiento de datos recibidos porque esta clase de sensores son los más usados en la práctica debido a su coste reducido y a la escasa necesidad de mantenimiento, lo que lo convierte en un elemento viable en la mayoría de sus aplicaciones.

4.1.1.4.2 Luz

Las plantas utilizan la luz solar para elaborar la energía que necesitan, razón por la cual, la luz es uno de los parámetros esenciales de medición y control de la aplicación que pretendemos. Básicamente, las plantas emplean la luz, para elaborar azúcares, muy similares a la glucosa, que más tarde se convertirán en los elementos químicos que necesitan para un crecimiento sano y vigoroso.

La intensidad de la luz se mide en luxes (lx.). El lux es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación.

Es importante medir la intensidad de luz en un invernadero o en el lugar donde se ubica la planta, ya que de esta dependerá un mejor desarrollo de las unidades de plantación. La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía.

No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa. Dependiendo de la longitud de onda la luz se clasifica en tres categorías: luz ultravioleta (UV), luz visible y luz infrarroja.

La planta reconoce las ondas de luz en el fotoperiodo (duración del día) por medio de receptores que envían señales a la planta para que comience la producción de las flores en el periodo adecuado para conseguir de la luz la energía que precisa. (Figuras 4-19, 4-20 y 4-21).

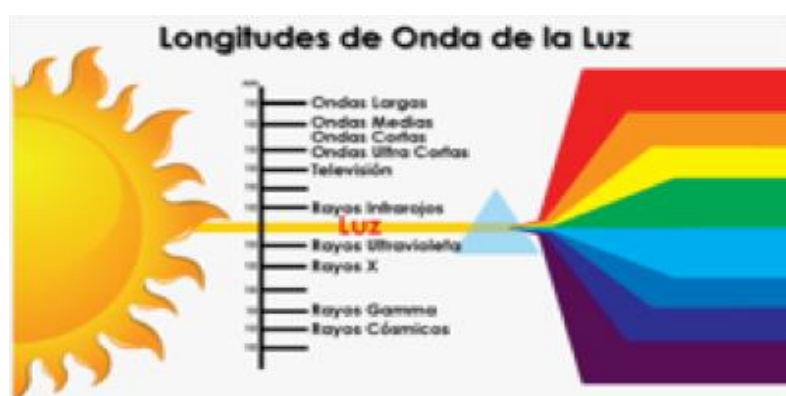


Figura 4-19: Longitudes de onda de la luz. Fuente: Google imágenes



Figura 4-20: Plantas con necesidad de luz. Fuente: Google imágenes



Figura 4-21: Ondas de luz. Fuente: Google imágenes

4.1.1.4.2.1 Sensor de Luz -LDR (Light Dependent Resistor)

Un LDR (Light Dependent Resistor) [14] es una resistencia que varía su valor en función de la luz recibida. Cuanta más luz recibe, menor es su resistencia (Figura 4-22).

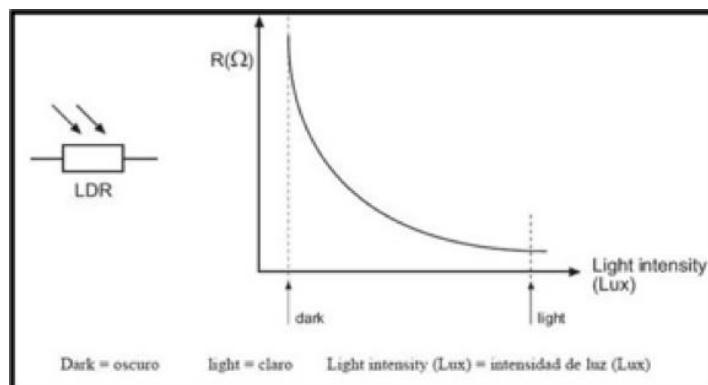


Figura 4-22: Curva característica de la resistencia en función de la luz para el sensor de luz LDR. . Fuente [14]



Un LDR está fabricado con un semiconductor de alta resistencia como puede ser el sulfuro de cadmio. Si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por la elasticidad del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta (y su hueco asociado) conduce electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia.

Las células de sulfuro del cadmio se basan en la capacidad del cadmio de variar su resistencia según la cantidad de luz que incide en la célula. Cuanta más luz incide, más baja es la resistencia. Las células son también capaces de reaccionar a una amplia gama de frecuencias, incluyendo infrarrojo (IR), luz visible, y ultravioleta (UV).



Figura 4-23: Sensor de luz LDR. Fuente [14]

4.1.1.4.3 Humedad del suelo

La humedad del suelo es la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Establecer el índice de humedad del suelo es de vital importancia para las actividades agrícolas. Los niveles de humedad del suelo determinan el momento del riego y la humedad del suelo se puede estimar por el aspecto del terreno.

El exceso de agua reduce el crecimiento al arrastrar los nitratos a una profundidad superior al alcance de las raíces de los cultivos, y al desplazar el aire contenido en el interior del suelo lo que provoca la escasez de oxígeno en las raíces.

La falta de agua es perjudicial para los cultivos, por lo que se debe controlar regularmente el nivel de humedad del suelo para determinar cuándo regar y qué cantidad de agua se debe aplicar (Figuras 4-24 y 4-25).



Figura 4-24: Medida de la humedad de tierra.



Figura 4-25: Medida de la humedad de tierra.

El agua constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad del mismo, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

También se debe controlar la humedad al menos en una sección del área del campo que difiera de las demás en cuanto a la textura y aspecto del suelo.

La aplicación de riego en el momento exacto y en la cantidad apropiada es fundamental para obtener un buen rendimiento de los cultivos (Figura 4-26).



Figura 4-26: Sensor de humedad de tierra



4.1.1.4.3.1 Sensor de humedad de tierra SEN92355P

Se ha elegido usar el sensor de humedad SEN92355P [15] que ofrece la doble característica de detectar la humedad del suelo o detectar si hay agua alrededor del sensor.

Se trata de un sensor de humedad con salida analógica que ofrece un valor de voltaje en función del nivel de humedad. De hecho, son muy fáciles de usar. Basta con insertar el sensor en el suelo y luego leer la información que proporciona. Con la ayuda de este sensor será posible identificar cuándo se necesita proporcionar agua en donde se encuentra el sensor.

Necesita una alimentación de 3.3 a 5V y su voltaje de salida es de 0 a 4.2V DC. Sin embargo, el consumo suele ser de 35mA, con dimensiones: 5.5x2.3x0.7cm (Figura 4-27).



Figura 4-27: Sensor de humedad de suelo SEN92355P. Fuente [15]

4.1.1.4.4 Conexión de sensor de temperatura LM35 con el sistema

Este sensor es un integrado con su propio circuito de control, que proporciona una salida de voltaje proporcional a la temperatura. La salida del LM35 es lineal con la temperatura, incrementando el valor a razón de 10mV por cada grado centígrado. El rango de medición es de -55°C (-550mV) a 150°C (1500 mV). Su precisión a temperatura ambiente es de 0,5°C.

La Figura 4-28 muestra el diagrama de montaje y la conexión del sensor Lm35 con la placa Raspberry Pi.

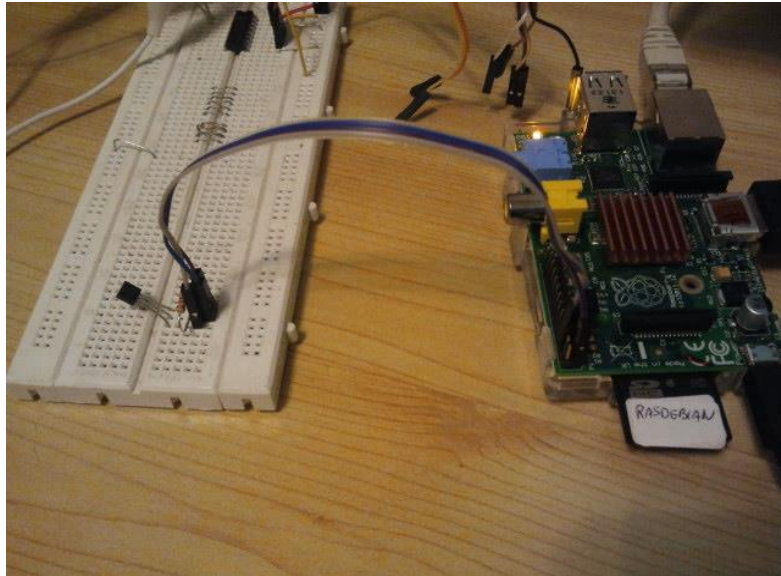


Figura 4-28: Conexión del sensor de temperatura LM35 con Raspberry Pi.

Los pines del sensor +Vs, Vout, GND van conectados de manera que el cable de color azul es para +5V, transparente derecho para la salida y transparente izquierdo para GND (Ground o Tierra).

En cuanto al código necesario para realizar la lectura del valor de la tensión mediante la entrada analógica, traduciendo el valor y a grados celsius usando la relación 10 mV/C, se define la función 'ProcesaTemperatura' como la variable 'varTemperatura' y la función 'LeeVoltaje' para poder leer el voltaje. (Figuras 4-29 y 4-30)

```
136
137 def procesaTemperatura(vTemperatura):
138     temperaturaGrados = vTemperatura * 100
139
140     return temperaturaGrados
141
```

Figura 4-29: Código necesario para la creación de la función 'procesaTemperatura'

```
150
151     varTemperatura = leeVoltaje(4)
152     temperaturaGrados = procesaTemperatura(varTemperatura)
153
```

Figura 4-30: Código necesario para la lectura del voltaje proporcionado por el sensor LM35



4.1.1.4.5 Conexión de sensor de humedad de suelo SEN92355P con el sistema

El sensor de humedad del suelo SEN92355P tiene una salida analógica que ofrece un valor de voltaje en función del nivel de humedad.

En este proyecto, se ha usado el sensor de humedad SEN92355P con la Raspberry Pi, igual que los otros sensores. De hecho se ha configurado siguiendo el siguiente proceso:

- 1- Utilización de una raspberry pi and a grovepi or grovepi+.
- 2- Configuración del entorno del desarrollo de la Aplicación.
- 3- Establecimiento de una conexión: En esta etapa se Conecta el sensor a grovepi A0 socket utilizando cables.
- 4- Navegación hasta el directorio
- 5- Ejecución la demo sudo Python grove_moisture_sensor.py

Para ello se crea la función ‘procesaHumedad’ utilizando las fórmulas matemáticas, para calcular en porcentaje el valor de la humedad de suelo, que aparece en la Figura 4-31.

```
108
109 def procesaHumedad(vHumedad):
110
111     vHumedad = vHumedad + 0.106428;
112
113     if vHumedad < 0.035437:
114         porcentajeHumedad = vHumedad * 6 / 0.035437
115     else:
116         porcentajeHumedad = 6 + (vHumedad - 0.035437) * 94 / 0.03262
117
118     if porcentajeHumedad < 0:
119         porcentajeHumedad = 0;
120     if porcentajeHumedad > 100:
121         porcentajeHumedad = 100;
122
123     return porcentajeHumedad
```

Figura 4-31: Código necesario para la creación de la función ‘procesaHumedad’

Se crea la variable ‘varHumedad’ dentro de la función general ‘leeSensores’, que devuelve el valor del voltaje leído a la hora de hacer las medidas. (Figura 4-32)

```
141
142 def leeSensores(adc):
143     varHumedad = leeVoltaje(1)
144     # porcentajeHumedad = procesaHumedad(varHumedad)
145     porcentajeHumedad = varHumedad
```

Figura 4-32: Código necesario para la lectura del voltaje proporcionado por el sensor de humedad de suelo SEN92355P



4.1.1.4.6 Conexión del sensor LDR con el sistema

El rango de resistencia que nos puede dar un LDR desde la total oscuridad hasta la plena luz, varía de un modelo a otro, pero en general oscilan entre unos 50 a 1000a cuando están completamente iluminadas. La resistencia, tanto en luz como en oscuridad, es de 24u y 500a respectivamente. Sin embargo, el rango de temperatura operacional va de -40 °C a +75°C.

Para la conexión del sistema, aparte del sensor LDR y la placa Raspberry Pi, se ha usado una resistencia, un capacitor de 1µF y algunos cables de conexión. (Figura 4-33)

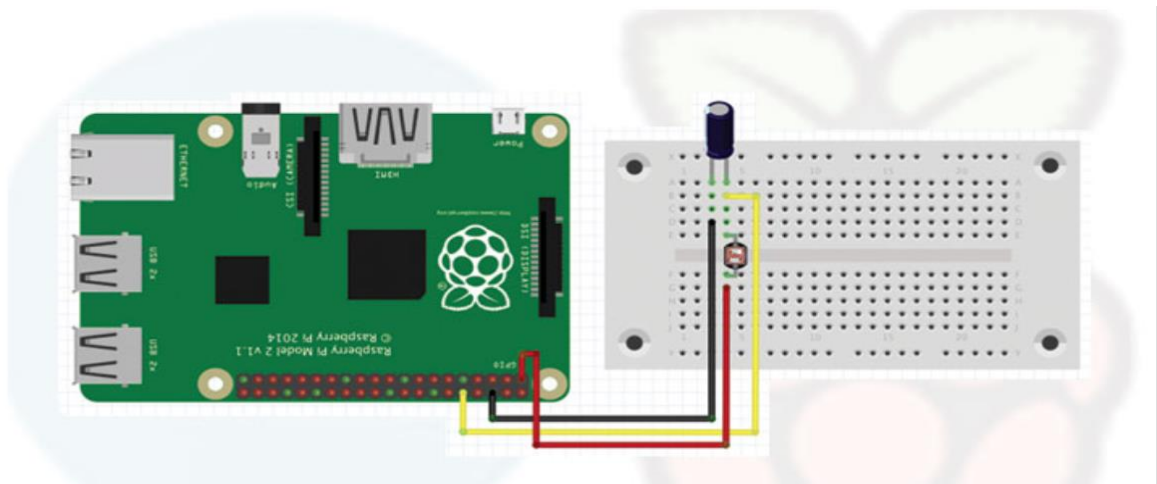


Figura 4-33: Conexión del sensor LDR con Raspberry Pi.

Se escribe en la terminal el siguiente comando y se pulsa intro: `ssh pi@http:192.168.122.132-RaspberryPi`

La fórmula matemática usada para calcular la intensidad de la luz mediante el sensor LDR es la que aparece en la Figura 4-34.

$$\text{int}(Lux) = 10^{\frac{\log\left(\frac{100(5 - V_i)}{V_i}\right) - 2,96}{-0,699}}$$

Se crea la función ‘procesaLuminosidad’ que devuelve el valor final de la intensidad de luminosidad medida mediante el sensor. Para ello se crea la variable



'varLuz' dentro de la función general 'leeSensores' y 'leeVoltaje' que devuelve el valor del voltaje leído a la hora de hacer las medidas. (Figuras 4-34 y 4-35)

```
146
147     varLuz = leeVoltaje(7)
148     intensidadLux = procesaLuminosidad(varLuz)
149
```

Figura 4-34: Función 'leeVoltaje'

```
124
125 def procesaLuminosidad(vLuz):
126     if vLuz == 0:
127         return 0
128     else:
129         R = 10 #kOhm
130         A = (R*(5.19-vLuz)/vLuz)
131         B = math.log10(A)
132         C = B-2.96
133         D = C/(-0.699)
134         E = math.pow(10.0, D)
135         return E
136
```

Figura 4-35: Función 'procesaLuminosidad'

Si se utiliza el LDR como resistencia inferior del divisor de tensión nos dará la tensión máxima cuando tengamos el LDR en plena oscuridad, ya que estará oponiendo el máximo de su resistencia al paso de la corriente derivándose ésta por Bou al completo. Si lo utilizamos como resistencia superior, el resultado será el inverso. Tendremos la tensión máxima cuando esté completamente iluminado, ya que se comportará prácticamente como un circuito abierto, con una resistencia de 50Ω o 100Ω .

Se usarán las librerías HighCharts y con ayuda de PHP y MySQL vamos a mostrar los valores en función del tiempo. Todos los valores medidos mediante los sensores de temperatura LM35, sensor de humedad de suelo SEN92355P y el sensor LDR, se mostrarán en la aplicación Web mediante gráficas. De tal forma, el objetivo del proyecto será medir los valores, representarlos, insertarlos en la base de datos que se encuentra en el servidor y obtener respuesta del sistema en los casos necesarios.



4.1.1.5 Antena wifi: Micro adaptador USB Wireless N 150

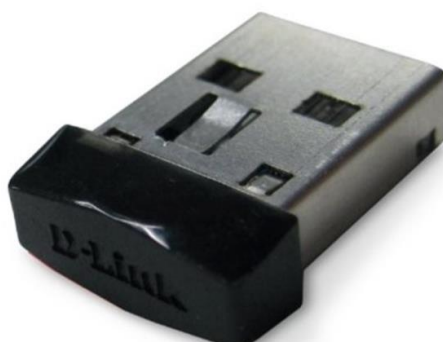


Figura 4-36: Micro adaptador USB Wireless N 150. Fuente [\[16\]](#)

El Micro adaptador USB Wireless N 150 [\[16\]](#) de la Figura 4-36 es una antena wifi basada en la tecnología Wireless N con una sola antena con el objetivo de ofrecer mayor velocidad y cobertura. Sin embargo, el DWA-121 alcanza una velocidad inalámbrica de hasta 150 Mbps y una cobertura superior sin puntos muertos. Se considera como una solución perfecta para ordenadores y portátiles con 802.11g, siendo compatible con la tecnología más reciente Wireless N y con la más común 802.11g.

Es un adaptador con diseño elegante, seguridad inalámbrica mediante WPS (Wi-Fi Protected Setup), compacto que se conecta a la placa Raspberry Pi (ordenador) sin sobresalir, dispone de controladores para Windows de 32 y 64 bits, como dispone de la tecnología Wireless N 150 para una conexión perfecta en todo el hogar.

El diminuto DWA-121 permite conectar fácilmente la Raspberry Pi a una red inalámbrica a fin de acceder a internet y compartir archivos, y es prácticamente imperceptible cuando está conectado al puerto USB.

Para proteger sus datos y privacidad, el micro adaptador USB Wireless N 150 es compatible con los algoritmos de encriptación WEP, WPA y WPA2 lo que permite una conexión segura a la red inalámbrica y mantener controlado el tráfico de red. La norma WPS (Wi-Fi Protected Setup) permite que los dispositivos establezcan fácilmente una conexión segura con un punto de acceso o router inalámbrico, lo que hace innecesarios los códigos complejos de cifrado.



El micro adaptador USB Wireless N 150 ofrece una conexión de alta velocidad inalámbrica con otros dispositivos Wireless N 150 o Wireless N, y mantiene la compatibilidad con los dispositivos 802.11g. De esta manera, se garantiza la interoperabilidad con una amplia gama de routers y redes inalámbricas existentes.

En cuanto a las especificaciones de la antena wifi, tiene una antena integrada, su rango de frecuencia es de 2.4 GHz a 2.4835 GHz y tiene acceso a Wifi protegido (WPA/WPA2-PSK, WPA/WPA2-EAP). El voltaje de operación es de 5 V DC +/- 5% y tiene unas dimensiones de 18.6 x 14.3 x 6.1 mm.

4.1.1.6 Válvula

En este proyecto se ha utilizado una válvula solenoide que es una válvula eléctrica utilizada para controlar el paso de gas (sistemas neumáticos) o fluidos (sistemas hidráulicos), en este caso agua para regar las plantas. La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos de un solenoide (un electroimán) que trabaja junto a un muelle diseñado para devolver la válvula a su posición neutral cuando el solenoide se desactiva. Este tipo de válvulas se suelen utilizar en sitios de difícil acceso, en sistemas multi-válvula y en sitios de ambiente peligroso. Las válvulas solenoides ofrecen funciones de apertura o cierre total y no se pueden utilizar para la regulación del flujo de gas o fluido. Existen válvulas solenoides que pueden trabajar con corriente alterna (AC) o con corriente continua (DC) y utilizar diferentes voltajes y duraciones de ciclo de funcionamiento.

Las electroválvulas son el corazón del sistema de riego del proyecto ya que se abren y cierran para permitir que el agua se distribuya desde las tuberías del sistema de riego hasta los componentes de riego. Las electroválvulas residenciales se ajustan a un amplio rango de necesidades de rendimiento y se han ganado la sólida reputación de ser las válvulas más fiables de la industria. (Figura 4-37)



Figura 4-37: Componentes de la válvula

Los solenoides son muy útiles para realizar acciones a distancia sobre válvulas de control de agua. Un solenoide es una bobina de material conductor cuyo funcionamiento se basa en campos electromagnéticos. Al pasar una corriente eléctrica a través de la bobina, se genera un campo electromagnético de cierta intensidad en el interior. Un émbolo de metal ferroso es atraído por la fuerza magnética hacia el centro de la bobina, lo que proporciona el movimiento necesario para accionar la válvula.

Una vez que se activa el solenoide, la válvula se mantendrá abierta o cerrada, dependiendo del diseño, hasta que se corte la corriente eléctrica y desaparezca el campo electromagnético del solenoide. En este momento, un muelle o resorte empuja el émbolo de nuevo hacia su posición original cambiando el estado de la válvula. El hecho de que no se necesite manipulación física directa hace que las válvulas solenoides sean la mejor solución para controlar la entrada o salida del agua, como en sitios a altas temperaturas o con productos químicos peligrosos. Además, las bobinas del solenoide se puede cubrir con material ignífugo para hacerlas más seguras para ambientes peligrosos.

Una válvula de solenoide eléctrico sólo puede funcionar como dispositivo on/off y no puede ser utilizado para abrir o cerrar la válvula gradualmente en aplicaciones dónde se requiera una regulación más precisa del flujo. En función del uso que se le va



a dar a la válvula, se pueden utilizar bobinas capaces de trabajar de forma continua o en ciclos de duración determinada; siendo las de trabajo continuo normalmente más caras.

Existen válvulas de solenoide aptas para su uso con corriente alterna, de 24 a 600 voltios, o para su uso con corriente continua, de 12 a 24 voltios.

La Electroválvula para la cual debemos configurar los parámetros iniciales también e indicar como debe actualizarse en función de los diferentes casos que se presenten. Así procedemos con los diferentes componentes que unido a la base de datos y al procesamiento de medidas nos dará como resultado un conjunto que cumple con los objetivos y necesidades requeridas. (Figura 4-38).

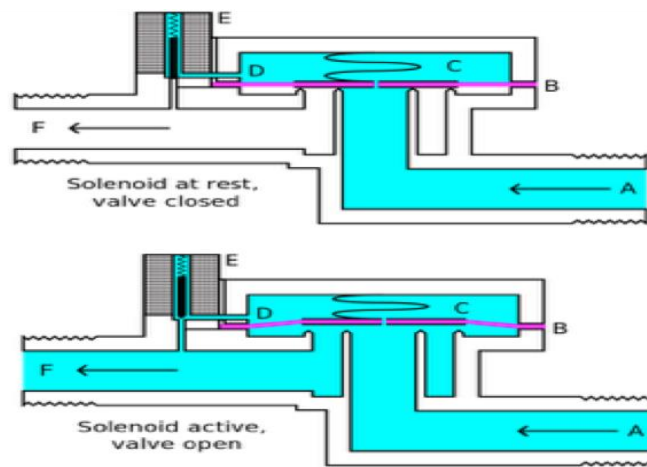


Figura 4-38: Las válvulas de solenoide



4.1.2 Aplicación Web

Para el desarrollo de la aplicación web se han usado básicamente los frameworks de software libre MeteorJS [17], AngularJs [18], CSS3, HTML5 y MongoDB [19].

Meteor es una plataforma para crear aplicaciones web en tiempo real construida sobre Node.js. Se sitúa entre la base de datos de la aplicación y su interfaz de usuario y se asegura de que ambas partes estén sincronizadas.

Meteor usa Node.js, por lo que se utiliza JavaScript [20] en el cliente y en el servidor. Además Meteor es capaz de compartir código entre ambos entornos.

El resultado es una plataforma muy potente y muy sencilla ya que Meteor abstrae muchas de las molestias y dificultades que nos encontramos habitualmente en el desarrollo de aplicaciones web.

Este entorno está altamente integrado con Mongo DB y usa el protocolo DDP (Distributed Data Protocol) para actualizar la base de datos en el lado del servidor y a su vez sincronizar dichos cambios entre los clientes.

Las principales características de Meteor son:

- “Data on the wire”: en vez de enviar HTML al cliente, Meteor solo envía los datos necesarios para cambiar la parte de la web que ha cambiado. Esto permite construir webs con una muy baja latencia de carga.
- “One language”: tanto en el servidor como en el cliente se utiliza JavaScript, con el cual también se puede acceder a las bases de datos. Con un único lenguaje se programa completamente la parte lógica de la web.
- “Database Everywhere”: a fin de agilizar el acceso a la base de datos, ésta no solo se encuentra en el servidor, sino que Meteor crea y envía al cliente una caché con la parte necesaria de la base de datos para dicho cliente.
- “Full stack reactivity”: todas las capas, desde la base de datos a la plantilla HTML, se actualizan automáticamente cuando es necesario sin necesidad de refrescar la página web.



- “Simplicity equals productivity”: Meteor fue diseñado para ser fácil de aprender, incluso para principiantes en desarrollo web.

Meteor es una mezcla de código JavaScript en el lado del cliente que se ejecuta en el navegador, código JavaScript que se ejecuta en el lado del servidor sobre Node.js, y los demás recursos estáticos necesarios para construir una aplicación web como las plantillas HTML, las hojas de estilo CSS y otros recursos estáticos como archivos o fotos.

Meteor es muy flexible a la hora de la estructuración de los archivos. Automáticamente carga todos los archivos contenidos en la carpeta de la aplicación por lo que no es necesario incluir etiquetas en el HTML como `<script>` ó `<link>` para incluir JavaScript o CSS.

No es preciso una estructuración de directorios concreta, siendo únicamente necesario incluir todos los archivos de la aplicación en la carpeta de la aplicación. Sin embargo, los nombres de los archivos y directorios dentro del proyecto pueden afectar al orden en que se cargan, dónde se cargan y otras características.

Los siguientes directorios reciben un trato especial:

- `/Client`: contiene todos los datos necesarios en el cliente (HTML, CSS y código JavaScript).
- `/Server`: cualquier archivo contenido en esta carpeta no será enviado al cliente. Sirve para ocultar al cliente información como datos de contraseñas o mecanismos de autenticación.
- `/Public`: los datos contenidos en esta carpeta serán enviados tal cual al cliente, se utiliza para recursos como imágenes.
- `/Private`: sólo se puede acceder a los recursos de esta carpeta mediante código en el servidor.

4.1.2.1 Reactividad de la aplicación Web

Meteor es un framework reactivo ya que puede crear aplicaciones web dinámicas que cambian en tiempo real sin necesidad de refrescar la página web. No obstante, para evitar tener que ejecutar todo el código de la aplicación cada vez que se produce un cambio en alguno de los datos de los que esta depende, la reactividad se limita a áreas



específicas llamadas computaciones. Las computaciones son partes del código que se ejecutan cada vez que cambia una de las fuentes de datos reactivas de las que depende esa parte de código.

```
13 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 36, luz : 44, temperatura : 19, humedad : 26});
14 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 37, luz : 54, temperatura : 19, humedad : 36});
15 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 38, luz : 44, temperatura : 39, humedad : 56});
16 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 39, luz : 4, temperatura : 39, humedad : 52});
17 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 40, luz : 22, temperatura : 19, humedad : 51});
18 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 41, luz : 14, temperatura : 9, humedad : 50});
19 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 42, luz : 84, temperatura : 19, humedad : 16});
20 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 43, luz : 84, temperatura : 29, humedad : 56});
21 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 44, luz : 50, temperatura : 31, humedad : 66});
22 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 45, luz : 24, temperatura : 31, humedad : 76});
23 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 46, luz : 84, temperatura : 23, humedad : 86});
24 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 47, luz : 34, temperatura : 23, humedad : 16});
25 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 48, luz : 44, temperatura : 19, humedad : 26});
26 Medidas.insert({ año : 2014, mes : 6, día : 14, hora : 13, minuto : 49, luz : 54, temperatura : 19, humedad : 36});
```

Figura 4-39: Código de medidas a tiempo real

Las fuentes de datos reactivas a su vez monitorizan todas las computaciones de las que dependen, para avisarlas cuando su valor cambie y que éstas puedan volver a ejecutarse.

Gracias a las computaciones y a las fuentes de datos reactivas, las aplicaciones desarrolladas con MeteorJS son altamente dinámicas ya que, si una parte del código depende de una variable o datos de una base de datos, el resultado que esta parte de código produce será automáticamente recalculado si los datos de los que depende cambian.

```
1 Tracker.autorun(function ()
2 {
3   Meteor.subscribe("messages", Session.get("currentRoomId"));
4 });
```

Figura 4-40: Ejemplo de programación reactiva.

En el ejemplo de la figura 4-40, se crea una computación encerrando un fragmento de código en el bloque `Tracker.autorun`. En este caso, la fuente de datos reactiva de la que depende la computación es `Session.get("currentRoomId")`, que podrá provocar que la computación se ejecute de nuevo al cambiar su valor.

4.1.2.2 Plantillas HTML5 de la aplicación web

Se han creado los 4 templates necesarios, que son:

- Home.html
- template-datos.html



- template-grafica.html
- template-riego.html

Meteor emplea la tecnología Blaze para permitir que estas plantillas HTML se actualicen automáticamente atendiendo a cambios en los datos que contienen, según la tecnología Blaze que emplea Meteor. Gracias a esta tecnología solo es necesario desarrollar las plantillas. HTML, pues Meteor se encarga de actualizar los datos obtenidos en ellas cuando sea necesario.

Para crear una plantilla HTML, simplemente se debe de incluir en un archivo con extensión (.HTML) y dentro de la etiqueta (<template>). Se pueden insertar plantillas dentro de plantillas usando el operador ({{> myTemplate}}). Mediante la sentencia ({{> myTemplate}}) se inserta la plantilla (“myTemplate”) dentro de otra plantilla. (Figuras 4-41, 4-42, 4-43 y 4-44)

```
home.html x
1 <head>
2   <title>iplant</title>
3 </head>
4
5 <template name="home">
6   <header class="navbar navbar-static-top bs-docs-nav" id="top" role="banner">
7     <div class="container">
8       <div class="navbar-header">
9         <button class="navbar-toggle" type="button" data-toggle="collapse" data-target=".bs-navbar-collapse">
10          <span class="sr-only">Toggle navigation</span>
11          <span class="icon-bar"></span>
12          <span class="icon-bar"></span>
```

Figura 4-41: Creación de la Template Home.html

```
template-datos.html x
1 <head>
2   <title>iplant</title>
3 </head>
4
5 <template name="datos">
6   <header class="navbar navbar-static-top bs-docs-nav" id="top" role="banner">
7     <div class="container">
8       <div class="navbar-header">
```

Figura 4-42: Creación de la Template ‘template-datos.html’



```
template-graficas.html x
1 <title>iPlant</title>
2 </head>
3
4
5 <template name="graficas">
6 <header class="navbar navbar-static-top bs-docs-nav" id="top" role="banner">
7 <div class="container">
8 <div class="navbar-header">
9 <button class="navbar-toggle" type="button" data-toggle="collapse" data-target=".bs-navbar-collapse">
10 <span class="sr-only">Toggle navigation</span>
11 <span class="icon-bar"></span>
12 <span class="icon-bar"></span>
13 <span class="icon-bar"></span>
14 </button>
15 <a href="/" class="navbar-brand">iPlant</a>
16 </div>
17 <nav class="collapse navbar-collapse bs-navbar-collapse" role="navigation">
18 <ul class="nav navbar-nav">
19 <li class="active">
20 <a href="/graficas">Gráficas</a>
21 </li>
22 <li>
23 <a href="/datos">Datos</a>
24 </li>
25 <li>
26 <a href="/riego">Riego</a>
27 </li>
28 </ul>
29 </nav>
30 </div>
31 </div>
32 </div>
33 </div>
34 </div>
35 </div>
36 </div>
37 </div>
38 </div>
39 </div>
40 </div>
41 </div>
42 </div>
43 </div>
44 </div>
45 </div>
46 </div>
47 </div>
48 </div>
49 </div>
50 </div>
51 </div>
52 </div>
53 </div>
54 </div>
55 </div>
56 </div>
57 </div>
58 </div>
59 </div>
60 </div>
61 </div>
62 </div>
63 </div>
64 </div>
65 </div>
66 </div>
67 </div>
68 </div>
69 </div>
70 </div>
71 </div>
72 </div>
73 </div>
74 </div>
75 </div>
76 </div>
77 </div>
78 </div>
79 </div>
80 </div>
81 </div>
82 </div>
83 </div>
84 </div>
85 </div>
86 </div>
87 </div>
88 </div>
89 </div>
90 </div>
91 </div>
92 </div>
93 </div>
94 </div>
95 </div>
96 </div>
97 </div>
98 </div>
99 </div>
100 </div>
```

Figura 4-43: Creación de la Template 'template-grafica.html'

```
template-riego.html x
1 <head>
2 <title>iPlant</title>
3 </head>
4
5 <template name="riego">
6 <link href="http://fonts.googleapis.com/css?family=Roboto+Slab:400,300,700" rel="stylesheet" type="text/css">
7 <header class="navbar navbar-static-top bs-docs-nav" id="top" role="banner">
8 <div class="container">
9 <div class="navbar-header">
10 <button class="navbar-toggle" type="button" data-toggle="collapse" data-target=".bs-navbar-collapse">
11 <span class="sr-only">Toggle navigation</span>
12 <span class="icon-bar"></span>
13 <span class="icon-bar"></span>
14 <span class="icon-bar"></span>
15 </button>
16 <a href="/" class="navbar-brand">iPlant</a>
17 </div>
18 <nav class="collapse navbar-collapse bs-navbar-collapse" role="navigation">
19 <ul class="nav navbar-nav">
20 <li>
21 <a href="/graficas">Gráficas</a>
22 </li>
23 <li>
24 <a href="/datos">Datos</a>
25 </li>
26 <li class="active">
27 <a href="/riego">Riego</a>
28 </li>
29 </ul>
30 </nav>
31 </div>
32 </div>
33 </div>
34 </div>
35 </div>
36 </div>
37 </div>
38 </div>
39 </div>
40 </div>
41 </div>
42 </div>
43 </div>
44 </div>
45 </div>
46 </div>
47 </div>
48 </div>
49 </div>
50 </div>
51 </div>
52 </div>
53 </div>
54 </div>
55 </div>
56 </div>
57 </div>
58 </div>
59 </div>
60 </div>
61 </div>
62 </div>
63 </div>
64 </div>
65 </div>
66 </div>
67 </div>
68 </div>
69 </div>
70 </div>
71 </div>
72 </div>
73 </div>
74 </div>
75 </div>
76 </div>
77 </div>
78 </div>
79 </div>
80 </div>
81 </div>
82 </div>
83 </div>
84 </div>
85 </div>
86 </div>
87 </div>
88 </div>
89 </div>
90 </div>
91 </div>
92 </div>
93 </div>
94 </div>
95 </div>
96 </div>
97 </div>
98 </div>
99 </div>
100 </div>
```

Figura 4-44: Creación de la Template 'template-riego.html'

La interfaz de la aplicación contiene tres secciones importantes que son gráficas, datos y riego.

La primera página, GRÁFICAS, contiene las tres gráficas que representan los datos recogidos de los tres sensores en función del tiempo. Cada gráfica corresponde a un sensor concreto. Las medidas se han hecho en minutos consecutivos, es decir, el tiempo transcurrido entre cada dato y el siguiente es de dos minutos.

Las gráficas tienen diferente colores: el azul, color de agua, para la Humedad, el amarillo/naranja para la luminosidad y finalmente el rojo para la temperatura. Todos estos detalles se han hecho para poder leer de manera fácil y rápida las gráficas y para que el cliente pueda controlar el crecimiento de su planta.

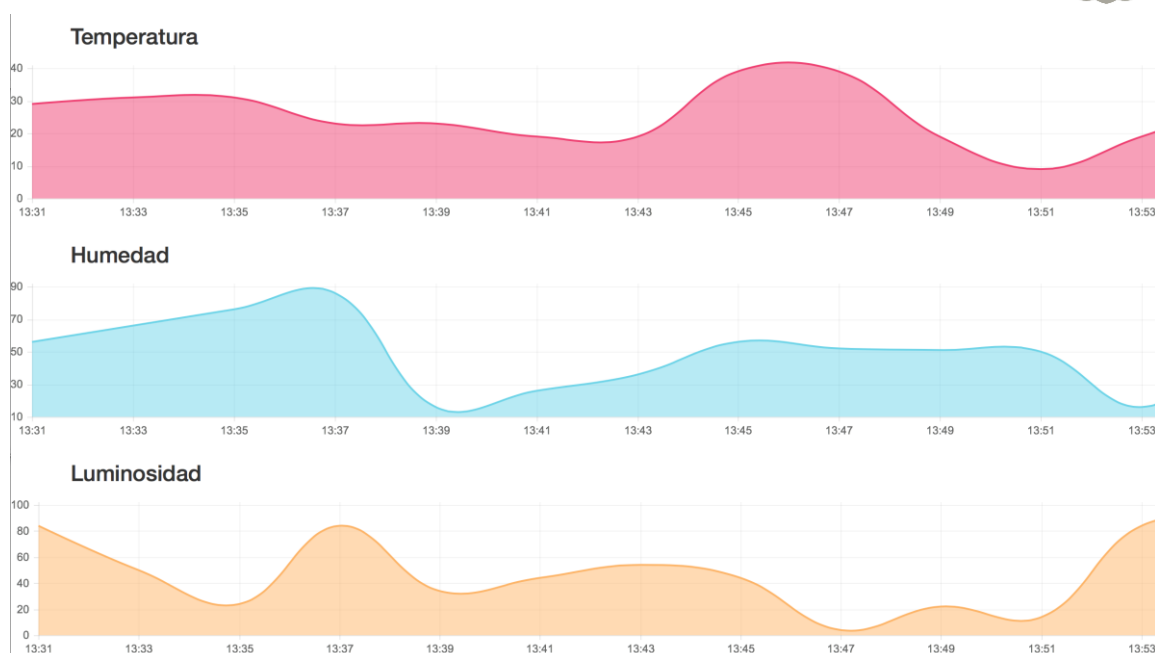


Figura 4-45: Visualización del botón "GRAFICAS" de la aplicación web

La segunda página, DATOS, muestra en forma de tabla los datos medidos mediante los tres sensores en tiempo real. La tabla contiene también las fechas de la toma de medidas. Como esta fecha es un dato muy importante, se ha intentado programar esta parte y hacer que aparezca el día, mes y año de la recogida del dato.

[iPlant](#) [Gráficas](#) [Datos](#) [Riego](#)

Tiempo	Luminosidad	Temperatura	Humedad
13:31 - 14/6/2014	84	29	56
13:32 - 14/6/2014	50	31	66
13:33 - 14/6/2014	24	31	76
13:34 - 14/6/2014	84	23	86
13:35 - 14/6/2014	34	23	16
13:36 - 14/6/2014	44	19	26
13:37 - 14/6/2014	54	19	36
13:38 - 14/6/2014	44	39	56
13:39 - 14/6/2014	4	39	52
13:40 - 14/6/2014	22	19	51
13:41 - 14/6/2014	14	9	50
13:42 - 14/6/2014	84	19	16
13:43 - 14/6/2014	84	29	56
13:44 - 14/6/2014	50	31	66
13:45 - 14/6/2014	24	31	76
13:46 - 14/6/2014	84	23	86

Figura 4-46: Visualización del botón "DATOS" de la aplicación web



La tercera parte, RIEGO, contiene el botón de activar el riego. Éste aparece en verde cuando está activo y en gris cuando no está funcionando.



Figura 4-47: Visualización del botón "RIEGO" de la aplicación web

La aplicación web está dirigida a todas las personas interesadas por el mundo de las plantas. Por eso es bastante fácil de usar y los datos representados en gráficas y tablas son muy visibles y se pueden entender rápidamente.

También podremos controlar el sistema y visualizar los datos recogidos a través de dispositivos móviles accediendo desde ellos a la web. Podremos visualizar esto como se muestra en las figuras 4-48 y 4-49.

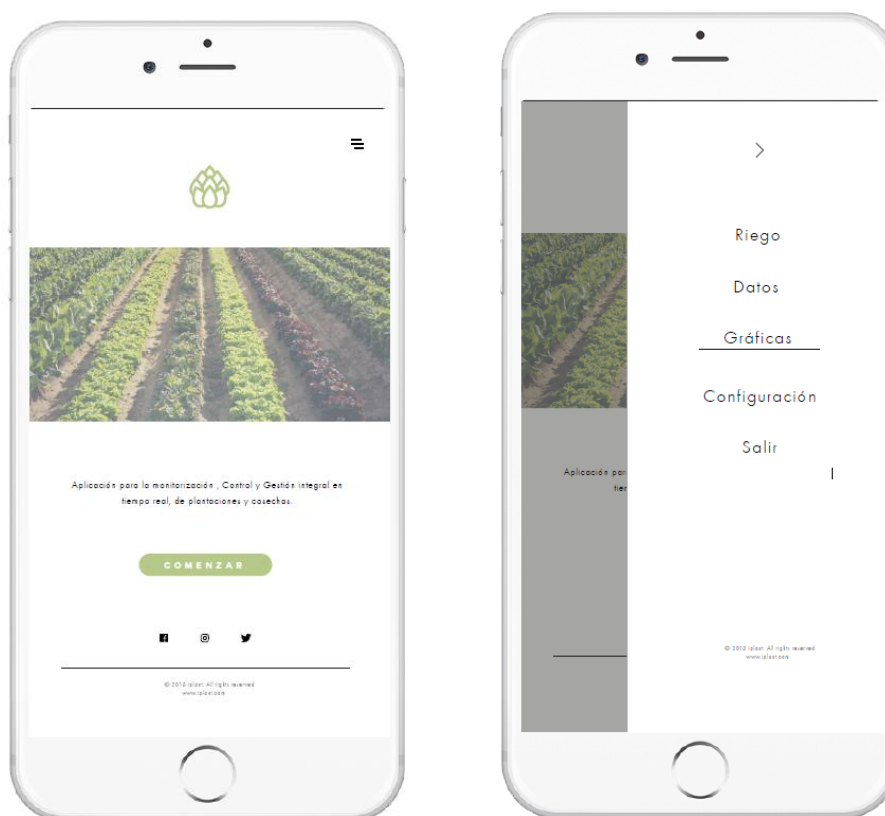


Figura 4-48: Visualización de Home page

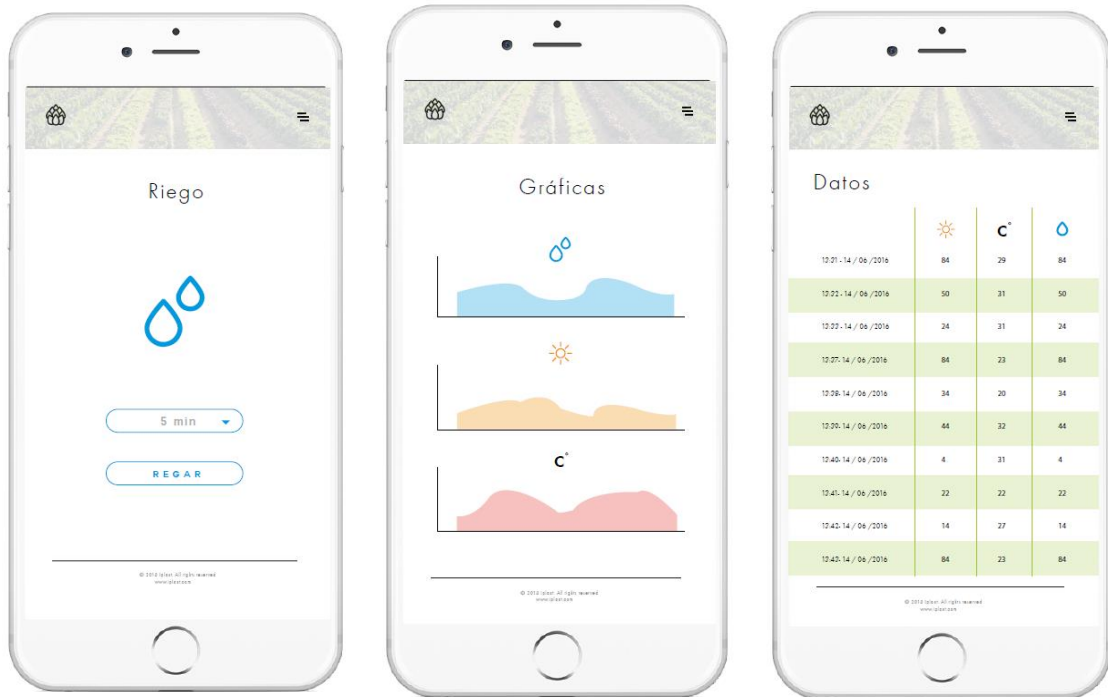


Figura 4-49: Visualización de los distintos botones

4.1.2.3 Almacenamiento de datos de la aplicación web

Para almacenar los datos de la aplicación web, se ha utilizado una base de datos en el servidor. Esta base de datos es el sistema más eficaz para almacenar los datos de forma permanente y hacerlos disponibles para más de un usuario. Para sincronizar los datos de un lugar a otro, existen otras dos formas más, que son utilizar la memoria del navegador o el almacén del navegador pero se ha elegido la base de datos porque es la fuente de datos que contiene la copia maestra.

Se han usado las colecciones para almacenar dichos datos de sus aplicaciones. Estas colecciones son estructuras de datos especiales que usa Meteor y son el eje central de las aplicaciones Meteor, ya que permiten guardar los datos de forma permanente en el servidor mediante una base de datos MongoDB y sincronizar los datos con el navegador de cada usuario conectado en tiempo real.(Figura 4-50)

```
collections.js
1 Medidas = new Meteor.Collection("medidas");
2 Mandos = new Meteor.Collection("mandos");
```

Figura 4-50: Creación de colecciones



Declaramos una colección en el cliente y se crea una caché local de la colección real dentro del navegador. Lo habitual es que cada cliente sólo tenga acceso a cierta parte de la base de datos, esta caché contiene un subconjunto de datos de la colección Mongo y ofrece un acceso muy rápido. Esto es debido a que esta caché está almacenada en la memoria del ordenador, y cuando se accede a ella no hay que conectar con la base de datos en el servidor ya que los datos ya están precargados. Después de que se inserte un dato en una colección local en la memoria de un navegador, se almacena automáticamente en la colección del servidor para que pueda ser distribuido a todos los demás clientes que requieran acceso a ese dato.

```
85
86 def conectaDB():
87     global cliente
88
89     while cliente.alive() == False:
90         cliente = pymongo.MongoClient('37.139.26.146', 27017)
91         time.sleep(15)
92
93     db = cliente.iplant
94     medidas = db.medidas
95     mandos = db.mandos
96
97     return db, medidas, mandos
```

Figura 4-51: Conexión cliente/base de datos

Después de medir los valores de la temperatura, humedad de suelo e intensidad de luz mediante los 3 sensores conectados a la placa Raspberry Pi, se mandan las lecturas a la base de datos MongoDB, que es un sistema de base de datos No SQL orientado a documentos desarrollado bajo el concepto de código abierto. A diferencia de las bases de datos SQL, que guardan datos en tablas, MongoDB guarda estructuras de datos en archivos de tipo JSON con un esquema dinámico, haciendo que la integración de los datos sea más fácil y rápida. Mediante Meteor y sus herramientas, existe un conjunto de métodos que permite acceder a estas bases de datos utilizando JavaScript.

```
98
99 def enviaMedida(medidas, medida):
100     medidas.insert(medida)
101     return datetime.datetime.now().strftime("%M")
102
```

Figura 4-52: Función 'EnviaMedida' que manda las lecturas a la base de datos



```
108
109     var width = $(window).width();
110     var height = $(window).height();
111
112     $('canvas').attr("width",width-20);
113     $('canvas').attr("height",height/4);
114
115
116
117     var dataLuminosidad = {
118         labels : [],
119         datasets : [
120             {
121                 fillColor : "rgba(254,180,95,0.5)",
122                 strokeColor : "rgba(254,180,95,1)",
123                 pointColor : "rgba(254,180,95,1)",
124                 pointStrokeColor : "#fff",
125                 data : []
126             }
127         ]
128     }
```

Figura 4-53: Parte del Back-End del código de la aplicación web

El sistema dispone de una base de datos que incluye información sobre plantas, árboles y vegetales, permitiendo saber las características ideales de temperatura, luz y humedad de suelo. De hecho, cuando hacemos las pruebas, se procede a comparar los resultados con la base de datos ya existente.

Para la migración de la base de datos se ha desarrollado un programa, creado a medida, que permite trasladar toda la información contenida en los correspondientes archivos a la aplicación. Para dicha tarea se ha utilizado el lenguaje de programación Python, que proporciona una gran libertad de adaptación a las circunstancias, eficiencia y seguridad. Con esto conseguimos crear y rellenar una base de datos completa en mucho menos tiempo y con menor tasa de error que si se hiciera el trabajo a mano.

AngularJS permite extender el vocabulario HTML con directivas y atributos, manteniendo la semántica y sin necesidad de emplear librerías externas como jQuery o Underscore.js para que funcione.

El Front-End es la parte que se ve por el cliente en el navegador, es decir, es la parte estética de la página web. Dentro de la aplicación web, el Front-End se encarga de maquetar la estructura semántica del contenido (HTML), codifica el diseño en hojas de estilo (CSS) y agrega la interacción con el usuario (Javascript) y conexión al servidor. Para comunicarse con el Back-End y la base de datos sin recargar la página, se usa AJAX que permite también recibir estos datos y cambiar el diseño entero del sitio web. Sin embargo, en la parte de Back-end permite el acceso a bases de datos y generación de plantillas del lado del servidor.



4.1.2.4 Gráficas

Tras comprobar la conexión general del sistema, leer los sensores de temperatura, humedad de suelo e intensidad de luz, generar el archivo JSON y enviarla a la base de datos, pasamos a la etapa de dibujar las gráficas de la aplicación web. Estas gráficas ayudan a dar más claridad a los resultados complejos obtenidos.

Creamos el template de las gráficas en HTML y especificamos qué datos se quieren representar. Creamos las funciones 'Function temperatura', 'Function humedad' y 'Function luminosidad' para obtener los datos medidos y representarlos en ilustraciones visuales que facilitan la comprensión, ya que estas gráficas se consideran unas de las partes más importantes del Front-End de la página web de la aplicación. La representación de las gráficas se ha hecho en función del año, mes, día, hora y minuto. (Figuras 4-54, 4-55, 4-56 y 4-57)

```
template-graficas.html x
1 <head>
2   <title>iplant</title>
3 </head>
4
5 <template name="graficas">
6   <header class="navbar navbar-static-top bs-docs-nav" id="top" role="banner">
7     <div class="container">
8       <div class="navbar-header">
9         <button class="navbar-toggle" type="button" data-toggle="collapse" data-target=".bs-navbar-co
10        <span class="sr-only">Toggle navigation</span>
```

Figura 4-54: Creación del template 'template-graficas.html'

```
33 <div>
34   <div>
35     <div class="container"><h3>Temperatura</h3></div>
36     <canvas id="graficaTemperatura" class="grafica"></canvas>
37   </div>
38   <div>
39     <div class="container"><h3>Humedad</h3></div>
40     <canvas id="graficaHumedad" class="grafica"></canvas>
41   </div>
42   <div>
43     <div class="container"><h3>Luminosidad</h3></div>
44     <canvas id="graficaLuminosidad" class="grafica"></canvas>
45   </div>
```

Figura 4-55: Gráficas de temperatura, humedad y luminosidad de la aplicación web



```
106
107 function dibujarGráficas(){
108
109     var width = $(window).width();
110     var height = $(window).height();
111
112     $('canvas').attr("width",width-20);
113     $('canvas').attr("height",height/4);
114
115
116
117     var dataLuminosidad = {
118         labels : [],
119         datasets : [
120             {
121                 fillColor : "rgba(254,180,95,0.5)",
122                 strokeColor : "rgba(254,180,95,1)",
123                 pointColor : "rgba(254,180,95,1)",
124                 pointStrokeColor : "#fff",
125                 data : []
126             }
127         ]
128     }
129     var dataTemperatura = {
130         labels : [],
131         datasets : [
132             {
133                 fillColor : "rgba(241,59,111,0.5)",
134                 strokeColor : "rgba(241,59,111,1)",
135                 pointColor : "rgba(241,59,111,1)",
136                 pointStrokeColor : "#fff",
137                 data : []
138             }
139         ]
140     }
141     var dataHumedad = {
142         labels : [],
143         datasets : [
144             {
145                 fillColor : "rgba(104,211,232,0.5)",
146                 strokeColor : "rgba(104,211,232,1)",
```

Figura 4-56: Front-End de las gráficas de temperatura, humedad y luminosidad de la aplicación web

```
10 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 33, luz : 24, temperatura : 31, humedad : 76});
11 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 34, luz : 84, temperatura : 23, humedad : 86});
12 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 35, luz : 34, temperatura : 23, humedad : 16});
13 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 36, luz : 44, temperatura : 19, humedad : 26});
14 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 37, luz : 54, temperatura : 19, humedad : 36});
15 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 38, luz : 44, temperatura : 39, humedad : 56});
16 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 39, luz : 4, temperatura : 39, humedad : 52});
17 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 40, luz : 22, temperatura : 19, humedad : 51});
18 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 41, luz : 14, temperatura : 9, humedad : 50});
19 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 42, luz : 84, temperatura : 19, humedad : 16});
20 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 43, luz : 84, temperatura : 29, humedad : 56});
21 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 44, luz : 50, temperatura : 31, humedad : 66});
22 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 45, luz : 24, temperatura : 31, humedad : 76});
23 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 46, luz : 84, temperatura : 23, humedad : 86});
24 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 47, luz : 34, temperatura : 23, humedad : 16});
25 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 48, luz : 44, temperatura : 19, humedad : 26});
26 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 49, luz : 54, temperatura : 19, humedad : 36});
27 Medidas.insert({ anio : 2014, mes : 6, dia : 14, hora : 13, minuto : 50, luz : 44, temperatura : 39, humedad : 56});
```

Figura 4-57: Representación de las gráficas de las medidas en función del año, mes, día, hora y minuto

4.1.3 Respuesta del sistema

Se establece la conexión con la base de datos y se inicia el ADC. Después de iniciar la electroválvula, se inicia el registro de la última lectura. De tal forma que si se comprueba que el cambio del último minuto de la última lectura es verdadero, se



procede a comprobar la conexión con el cliente y si esta última no está establecida, se leen los sensores y se pasan a la función 'leeSensores(adc)'. Se pasan tanto la variable de temperatura como la intensidad de luz y el porcentaje de humedad. Después generamos el JSON con la función 'generaMedida' donde se deposita la información de las medidas. Luego se envía el JSON a la base de datos y al comprobar que todas estas etapas se cumplen se actualiza el estado de válvula. Existe un interruptor de riego que se actualiza mediante meteor. (Figura 4-58)

El funcionamiento del sistema va mejorando con el tiempo y cuanto más experimentos y usos de la aplicación hay, cuanto más eficiente es. Este mejoramiento se llama inteligencia artificial, que se define en que el sistema va aprendiendo con el tiempo. De hecho, al presentar resultados con gráficas informando sobre la condiciones de luz, temperatura y humedad de suelo, el sistema guarda estos datos para posibles usos de la aplicación con la misma planta. De tal forma, se controla de manera eficiente e inteligente el crecimiento y la productividad de los cultivos.

```
204
205 while True:
206
207     estadoValvula = actualizaValvula(estadoValvula, mandos)
208
209     if comprobarCambioMinuto(minutoUltimaLectura) == True:
210
211         # comprobar conexion
212
213         if compruebaConexion(cliente) == False:
```

Figura 4-58: Actualización del estado de válvula

4.1.4 La implementación de la inteligencia artificial en el proyecto

En este proyecto se ha implementado un sistema de toma de decisiones acertadas utilizando automáticamente la información obtenida a través de los sensores de temperatura, luz y humedad del suelo. De este modo, se optimiza el régimen de riego de los cultivos y también se controlan las plantas para un mejor rendimiento. Pero actualmente el punto débil tecnológico está en los sistemas de inteligencia artificial.

Durante la realización de este proyecto se ha dedicado mucho tiempo a investigar el mundo agrícola y su relación con el desarrollo tecnológico. Esto ha permitido conocer sus principales problemáticas y ha motivado a dar un salto en la creación de mejores herramientas y servicios, incorporando avanzadas soluciones para



llevar a cabo una agricultura de precisión y una mejora en la gestión de recursos, costos y producción.

Se llama información al conjunto de datos básicos, sin interpretar, que se obtienen como entrada del sistema con el que en este proyecto se han obtenido los datos por los tres sensores de temperatura, luz y humedad del suelo.

Se define el conocimiento como la información obtenida más su interpretación. De hecho, se construyen modelos que simulen la adquisición estructuración y manipulación del conocimiento y que permiten crear sistemas artificiales inteligentes.

El objetivo de esta parte del proyecto fue crear un sistema para controlar de manera eficiente la irrigación en plantaciones y crear un lugar para el buen crecimiento de las plantas, basándose en técnicas de inteligencia artificial. Además, se espera disminuir costes y mejorar la producción, como consecuencia del buen uso del agua, como se pretende que las plantas reciban sólo lo necesario para su favorable desarrollo, lo que implicaría reducción en los volúmenes de riego.

El sistema presentará resultados explicando cuando la planta está en las mejores condiciones, es decir, cuando tenía mejores condiciones de luz y de temperatura. De hecho, el sistema proporcionará en el panel de control datos para poder controlar el crecimiento y la productividad de la planta.

También se puede decir que los principales resultados del trabajo fueron la obtención de una metodología para realizar un uso racional del agua en riego por goteo y la creación de una plataforma tecnológica a nivel de prototipo para aplicar la metodología.

Gracias a las pruebas desarrolladas a partir del prototipo del Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Mediante Bases De Datos No Relacionales e Inteligencia Artificial, se logró establecer un riego por demanda, operar con sensores inalámbricos y monitorear vía web las plantaciones para optimizar el uso del agua y controlar el crecimiento de las plantas para una mejor productividad y mejor rendimiento de cultivos.

El continuo avance de la tecnología ha transformado a la Inteligencia Artificial (IA) en un área de trabajo prioritaria dentro de la investigación del mundo agrícola.



Figura 4-59: La implementación de la inteligencia artificial en el proyecto

La inteligencia artificial (IA) es un área multidisciplinaria, que a través de ciencias como las ciencias de la computación, la lógica y la filosofía, estudia la creación y diseño de entidades capaces de resolver problemas cotidianos. En ciencias de la computación se denomina inteligencia artificial a la capacidad de razonar de un agente no vivo. “Es la ciencia e ingenio de hacer máquinas inteligentes, especialmente programas de cómputo inteligentes” según el informático John McCarthy.

Varios ejemplos se encuentran en el área de control de sistemas, planificación automática, la habilidad de responder a diagnósticos y a consultas de los consumidores, reconocimiento de escritura, reconocimiento del habla y reconocimiento de patrones.

4.2. Introducción del producto en el mercado

En este punto definiremos las acciones básicas que se llevarían a cabo con objeto de introducir la aplicación como producto en los nichos de mercado que se estiman como los más adecuados.

Dado que la realización de este tipo de trabajo es propio de especialistas en marketing, en este trabajo solo desarrollaremos las líneas básicas de actuación, cuyo desarrollo determinaría la viabilidad de la aplicación como producto.

En el caso del lanzamiento real del producto en sus mercados de actuación, se encargaría este trabajo a especialistas en marketing, comunicación y diseño gráfico.



4.2.1. Metodología y Plan de Trabajo

La metodología y el plan de trabajo que se ha establecido para el desarrollo de la introducción de la aplicación como producto, se basa en el esquema que se muestra en las páginas siguientes (Figura 4-60).

LANZAMIENTO E INTRODUCCIÓN COMO PRODUCTO.
(ESQUEMA BÁSICO DE METODOLOGÍA DE TRABAJO)



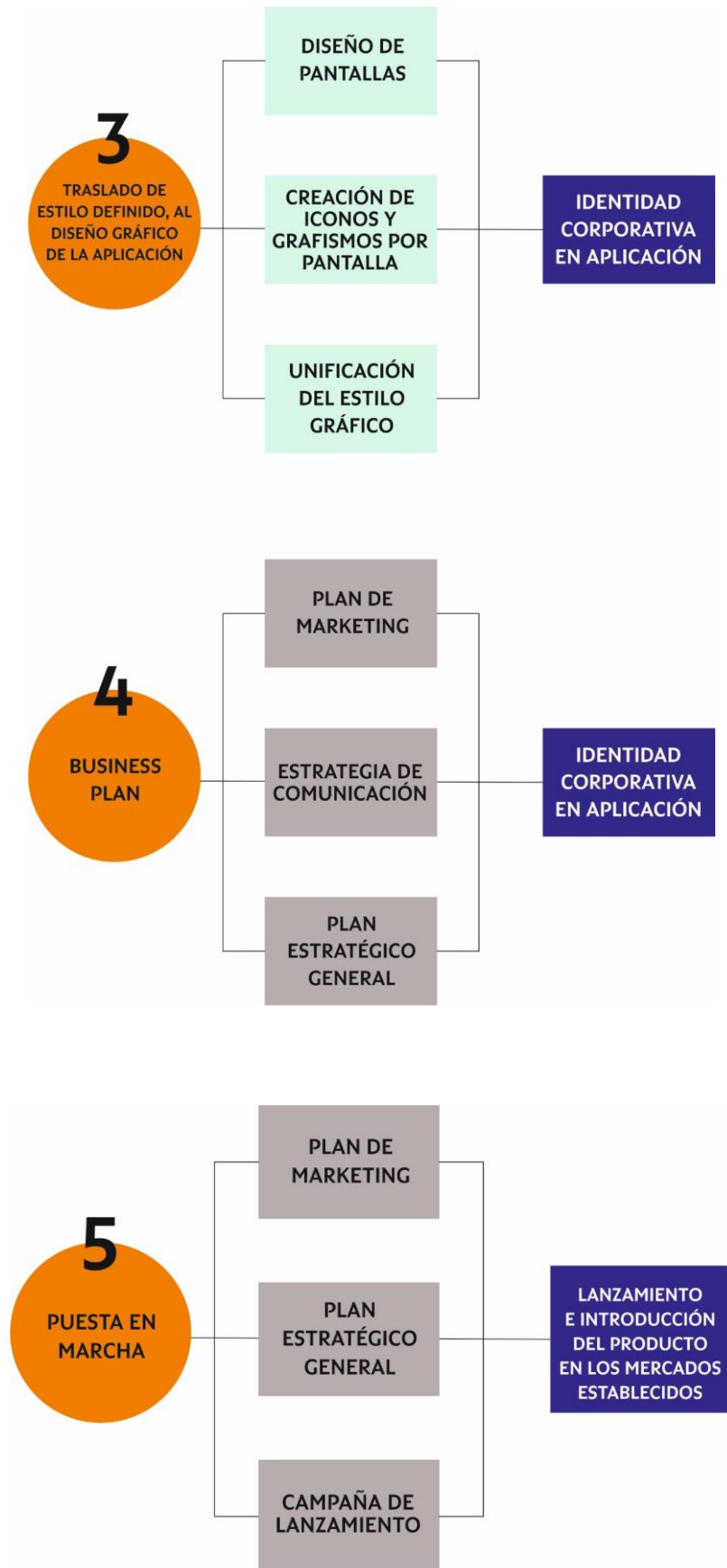


Figura 4-60: Esquema que informa sobre Metodología y Plan de Trabajo



El desarrollo de los 5 puntos descritos en la Figura 4-56, cubriría el total de acciones necesarias para el lanzamiento de la aplicación que aquí se expone, a los nichos de mercado para los que ha sido diseñada y desarrollada y que de forma prioritaria, se dirigiría al sector agro-alimentario.

4.2.2. Equipos y proceso

Tal y como comentamos al inicio de este apartado, los equipos necesarios para cubrir el proceso de lanzamiento e introducción de la aplicación en sus mercados, estarían formados y dirigidos por especialistas en marketing, comunicación y diseño, que basarían sus procesos de trabajo en las características que diferencian el producto de todos los que actualmente existen en el mercado.

Ofrecer cualidades diferenciales claras a los usuarios potenciales de la aplicación, será el objetivo básico de todo el proceso de trabajo. La aplicación como producto deberá ofrecer las cualidades diferenciales que muestren sus diferencias positivas respecto de cualquiera de los productos existentes en el mercado con objeto de conseguir un claro posicionamiento.

4.2.3. Identidad Corporativa del producto

La aplicación como producto, deberá estar dotada de una identidad corporativa que ofrezca la imagen adecuada a los objetivos que se persiguen. De tal forma, que los usuarios potenciales, perciban desde el primer momento una sensación inconsciente de calidad, unida a la propia utilidad del producto que se les ofrece.

Esta será una labor de diseñadores gráficos especializados, que deberán realizar un trabajo de diseño corporativo, adecuado a los objetivos de calidad técnica que se persiguen y que después, será refrendada por el cliente potencial como usuario de una aplicación basada en una tecnología puntera, que le proporcionará todas las funciones que espera y precisa del producto.

La siguiente imagen es un ejemplo de logotipo, que se desarrollaría en el caso de lanzamiento de la aplicación como producto (Figura 61).

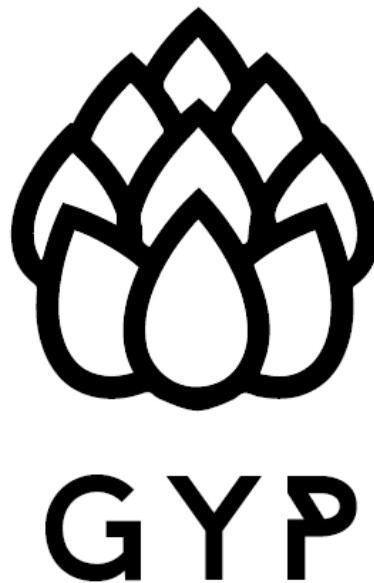


Figura 4-61: Logotipo de la Aplicación para la monitorización, Control y Gestión integral en tiempo real de plantaciones y cosechas

4.2.4. Plan Estratégico de Marketing y Comunicación

El desarrollo completo de los trabajos necesarios, previos al lanzamiento del producto al mercado, se completaría con la realización del Plan Estratégico de Marketing y Comunicación.

Este Plan abarcaría y definiría todos y cada uno de los procesos que se precisan para la puesta en marcha de la fabricación, introducción, promoción y venta de la aplicación que aquí se desarrolla.

La Figura 4-62 muestra la síntesis de este trabajo.



ESQUEMA BÁSICO DEL PLAN DE MARKETING Y COMUNICACIÓN PARA EL LANZAMIENTO AL MERCADO, DE LA APLICACIÓN COMO PRODUCTO



(Figura 47)

Figura 4-62: Esquema básico del plan de Marketing y Comunicación para el lanzamiento al mercado de la aplicación como producto



CAPÍTULO 5.

INTEGRACIÓN, PRUEBAS

Y RESULTADOS



5. INTEGRACIÓN, PRUEBAS

RESULTADOS

El sistema ofrece una serie de ayudas que pueden ser útiles para conocer mejor el estado de las plantas y el cuidado del mundo vegetal tanto en el hogar como en los pequeños huertos. Nos preocupa la planta por si le falta agua o está mustia o si hay que cambiarla de sitio. Para ello se necesita un control general de los cultivos.

Para el uso del sistema propuesto en este trabajo será necesario conectarse a la página web que se ocupa de la aplicación que es totalmente gratuita y se podrá utilizar en ordenadores, tablets y cualquier tipo de móviles iPhone y Android.

Para poder hacer las medidas necesarias con los sensores utilizados en el proyecto, se ha llevado a cabo la calibración de los sensores de temperatura, humedad de suelo y luz. Para ello, se compara la curva de calibración obtenida con la dada en las hojas de características. Por eso se han calculado diferentes parámetros relacionados con la curva de calibración.

5.1. Proceso de calibración de los sensores

El calibrado consiste en determinar, mediante la medida y comparación con un patrón, el valor correcto de la lectura de un instrumento de medida. En este caso los instrumentos serán los sensores de temperatura LM35, de intensidad de luz LDR y el de humedad de tierra SEN92355P.

5.1.1. Calibración del sensor de temperatura LM35

Para poder medir la tensión de salida del sensor de temperatura a una temperatura dada, se ha utilizado un multímetro comercial, el sensor, un tubo termo retráctil, cables de cobre, y la placa raspberry Pi.



5.1.1.1. Montaje de medida

Para la calibración del sensor de temperatura y obtención de las temperaturas de referencia se ha hecho uso de un vaso de agua con hielo, un radiador y un calentador de agua.

Se ha alimentado el sensor con una fuente. Para ello se ha procedido a conectar mediante cables la tierra de la fuente a la tierra del sensor y la salida de 5V de la fuente a la entrada Vs del sensor, siguiendo para ello el diagrama de conexión del sensor dado en la hoja de características.

5.1.1.2. Temperaturas de referencia

Variando la temperatura en las proximidades del sensor se ha medido la tensión de salida que éste produce. Esto se ha realizado para las temperaturas de referencia siguientes.

- . Temperatura ambiente: 20,3 °C. Sensor sobre un entorno estático.
- . Temperatura del hielo: 0°C, se ha sumergido el sensor y el termómetro sonda en un vaso de agua con sal y hielo y también se ha añadido sal para extraer al máximo la energía térmica de los sensores y obtener medidas lo más próximas a 0.
- . Temperatura del cuerpo humano: 34 °C, para ello se ha sujetado con firmeza el sensor y el termómetro simultáneamente en contacto con la palma de la mano.
- . Temperatura de calentador con agua con sal: 98 °C, esta es una temperatura de referencia que se propone. Se ha sumergido en agua caliente a casi 100°C en un calentador con sal para aumentar el punto de evaporación del agua y poder tomar una medida lo más estable posible.
- . Temperatura de radiador: 50°C, ésta es otra temperatura de referencia que se propone. De hecho, se ha introducido el sensor en las aletas de un radiador común.



5.1.1.3. Adquisición de medidas

Para cada temperatura de referencia (0, 20.3, 36, 50, 98) °C, se han tomado 20 medidas (valores de la tensión de salida del sensor). Por tanto, se dispone de 100 pares. Las tablas 1, 2, 3,4 y 5 muestran los valores medidos.

Termómetro (°C)	Sensor (mV.)
20,2	203,6
20,4	203
20,5	202,4
20,5	202,4
20,5	202,4
20,5	202,3
20,6	201,7
20,6	201,4
20,6	201,7
20,6	202
20,6	201,9
20,6	202
20,6	201,9
20,5	205,5
20,7	208,9
20,4	209,7
20,4	209,8
20,4	210,3
20,6	210,8
20,5	210,9

Tabla 1: Medida de la tensión de salida del sensor de temperatura LM35 para la temperatura ambiente



Termómetro (°C)	Sensor (mV.)
34,1	344,9
34,2	345,1
34,3	345,2
34,3	345,2
34,3	345,3
34,4	345,4
34,5	345,5
34,4	345,6
34,3	345,7
34,3	345,8
34,4	346,1
34,4	346,1
34,3	346,2
34,4	346,4
34,5	346,6
34,6	346,9
34,6	347,2
34,6	347,6
34,4	348,1
34,2	349,2

Tabla 2: Medida de la tensión de salida del sensor de temperatura LM35 para la temperatura de la mano

Termómetro (°C)	Sensor (mV.)
1	3,1
1,1	3,7
1	3,6
1,7	3,6
1,8	3,6
1,9	3,5
1,9	3,5
2	3,5
2,1	3,4
2,2	3,4
2,2	3,4
2,2	3,4
2,3	4,9
2,2	5,1
2,3	5,2
2,4	5,3
2,4	5,4
2,5	5,6
2,5	4,9
2,5	5,7

Tabla 3: Medida de la tensión de salida del sensor de temperatura LM35 para la temperatura del hielo



Termómetro (°C)	Sensor (mV.)
98,3	969
98,4	969
98,3	970
98,5	970
98,5	971
98,6	982
98,5	973
98,6	973
98,5	974
98,7	974
98,6	974
98,6	975
98,7	975
98,7	975
98,9	976
98,7	975
97,3	974
98,1	972
97,8	968
97,4	965

Tabla 4: Medida de la tensión de salida del sensor de temperatura LM35 para la temperatura del calentador

Termómetro (°C)	Sensor (mV.)
46,2	421
45,5	416
44,3	415
44,6	429
47,6	449
48,5	458
49,7	464
50,1	463
50,2	465
50,1	466
49,8	465
49,2	461
48,7	457
48	453
47,1	446
46,6	440
45,8	433
45,1	432
45,8	449
46,8	457

Tabla 5: Medida de la tensión de salida del sensor de temperatura LM35 para la temperatura del radiador



5.1.1.4. Expresión analítica de la curva de calibración real

Para buscar la curva de calibración dada por el fabricante, primero se busca la tabla de características del sensor LM35, cuya ganancia típica es de 10mV. / 0C (que se corresponde con la pendiente de la recta). Suponemos que la curva de salida tiene como Offset 0 mV., por lo que idealmente a 0 C a la entrada corresponderían a la salida 0 mV. Con todo esto, se puede formular de forma analítica la curva de calibración real con la siguiente expresión.

$$V_{out}(mV) = 0mV + 10mV/^{\circ}C \times T(^{\circ}C)$$

donde:

Vout (mV) es la tensión de salida del sensor

T ($^{\circ}$ C) es la temperatura

5.1.1.5. Ajuste por mínimos cuadrados de la curva de calibración medida

A partir de las medidas de tensión de salida del sensor, realizadas para cada temperatura de referencia, se ajusta la colección de 100 puntos a una recta. Para ello se usa el método de regresión lineal de ajuste por mínimos cuadrados, que obtiene una recta, con expresión:

$$y = \omega_1 + \omega_0$$

donde:

y es la tensión de salida del sensor: Vout (mV)

x es la temperatura: T ($^{\circ}$ C)

w1 es la pendiente de la recta (en mV. / $^{\circ}$ C)

w0 es la ordenada en el origen (en mV., que en este caso se corresponderá con el voltaje de salida medido cuando T=0 $^{\circ}$ C).

El ajuste por mínimos cuadrados minimiza esta cantidad (suma de los residuos al cuadrado):



$$S = \sum_{i=1}^N r_i^2 = \sum_{i=1}^N [(\omega_1 x_i + \omega_0) - y_i]^2$$

Siendo (x_i, y_i) los pares (T, V_{out}) de cada medida, y N es el número de medidas.

Tras esa minimización se obtienen estas expresiones para la pendiente y para la ordenada en el origen de la recta, respectivamente:

$$\omega_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$
$$\omega_0 = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i - \omega_1 \sum_{i=1}^N x_i \right)$$

Haciendo las medidas necesarias para la tensión de salida y representándola junto los puntos experimentales y con la curva de calibración real dada en las hojas de características del sensor, obtenemos la Figura 5-1.

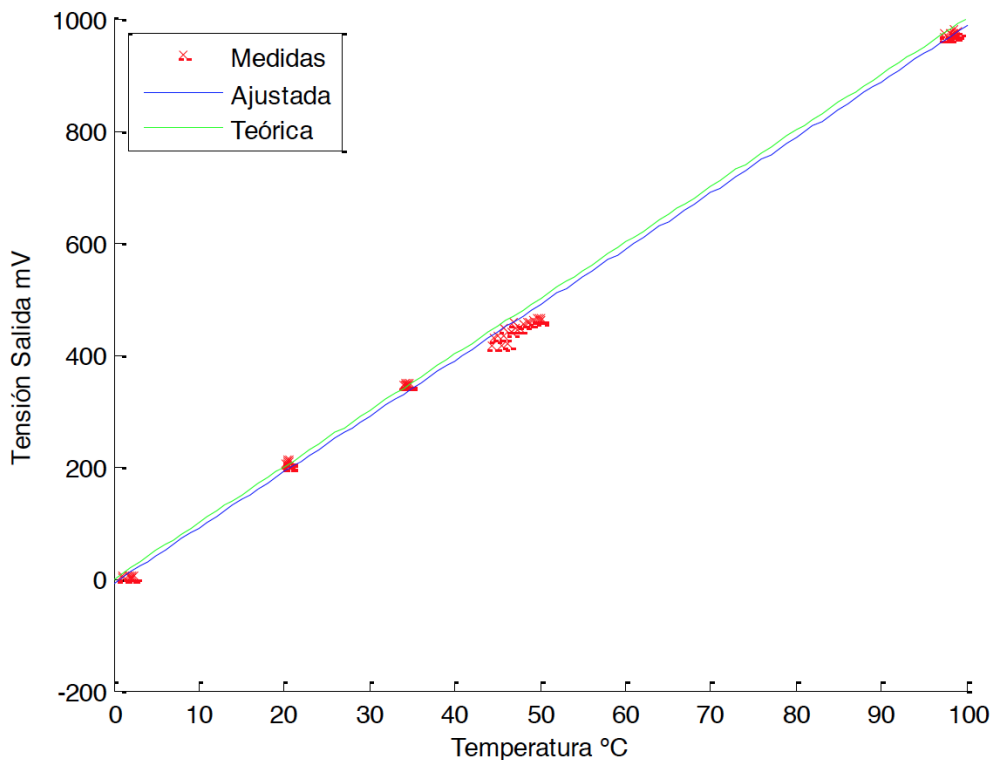


Figura 5-1: Rectas de calibración



5.1.2. Calibración de sensor de intensidad de luz (LDR)

A partir de las hojas de características de la LDR, se ha calculado la expresión matemática de la curva de calibración de la misma. Dicha curva de calibración relaciona la resistencia de la LDR con la intensidad luminosa, ambas en unidades naturales.

Las resistencias dependientes de la luz (LDR) varían su resistencia en función de la luz que reciben. Un incremento de la luz que reciben produce una disminución de la resistencia que presentan al paso de corriente eléctrica. Esta variación es similar para LDR's del mismo tipo pero, debido a las diferencias entre ellas, no todas presentan un comportamiento ante la luz idéntico. Este efecto no es importante si se utiliza una única LDR o para proyectos en los que la precisión requerida no es alta. Sin embargo, para el presente proyecto se requiere una gran precisión.

Es necesario corregir los valores obtenidos para que el resultado final sea el deseado. Inicialmente se requiere una curva característica de cada LDR obtenida a partir de un calibrado.

Para el objeto de este proyecto no es necesario conocer el valor exacto en lúmenes de intensidad en cada LDR, sino cuál de ellas y en qué porcentaje recibe más o menos luz. De esta manera, mediante un algoritmo, se podrá calcular el ángulo de incidencia de los rayos solares. Por esta razón, se tomará como patrón de calibrado, a partir del cual se determinará la curva característica.

Inicialmente se realiza una toma de medidas del sensor con distintas intensidades luminosas y con la placa de la matriz de recepción al descubierto. Con esta operación se consigue una tabla de valores como la que aparece en la Tabla 6.

Medida	LDR (lux)
Toma 1	92
Toma 2	93
Toma 3	116
Toma 4	128
Toma 5	144
Toma 6	165
Toma 7	215
Toma 8	280
Toma 9	640

Tabla 6: Toma de medida del sensor LDR



Haciendo las medidas necesarias y al representarla junto con los puntos experimentales y con la curva de calibración real dada en las hojas de características del sensor, obtenemos la Figura 5-2.

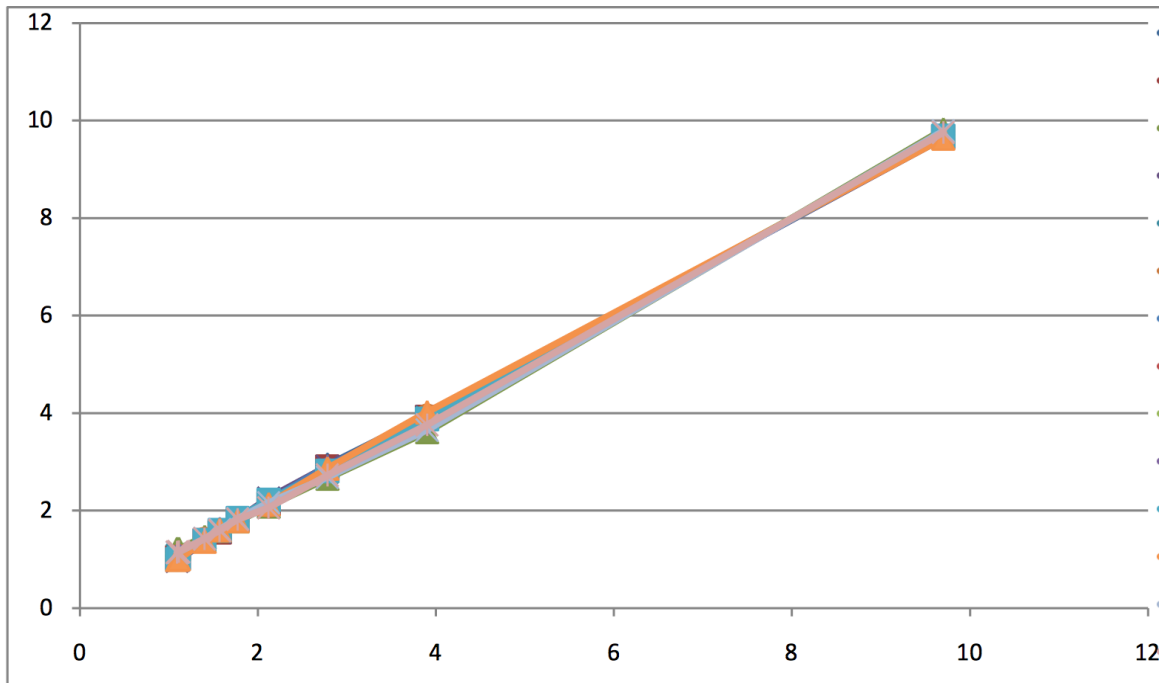


Figura 5-2: Curva de calibración sensor de luz (LDR)

5.1.3. Calibración del sensor de humedad de tierra SEN92355P

Después de haber instalado y terminado la programación completa de la placa Raspberry Pi, se procede a enchufar el sensor a la toma A0 mediante un cable y a navegar al directorio de los demos utilizando el siguiente comando:

```
2  
3 |cd yourpath/GrovePi/Software/Python
```

Figura 5-3: Código para navegar al directorio de los demos

Y para ver el código que aparece en la Figura 5-4, ponemos:

```
2  
3 nano grove_moisture_sensor.py
```

Figura 5-4: Código utilizado para ver el código



```
import time
import grovepi

# Connect the Grove Moisture Sensor to analog port A0
# SIG,NC,VCC,GND
sensor = 0

while True:
    try:
        print grovepi.analogRead(sensor)
        time.sleep(.5)

    except KeyboardInterrupt:
        break
    except IOError:
        print "Error"
```

Figura 5-5: Código para la calibración del sensor de humedad de tierra SEN92355P

Finalmente se ejecuta la demostración con el siguiente comando:

```
4
5 | sudo python grive_moisture_sensor.py
6
```

Figura 5-6: Código para la ejecución de la demostración

5.2. Albahaca, *Ocimum Basilicum*

Las pruebas se han hecho sobre diferentes plantas domésticas, ya que existen 6000 tipos de plantas árboles y vegetal. En este caso, como ejemplo, se ha utilizado la Albahaca, llamada también *Ocimum Basilicum*.



Figura 5-7: La Albahaca, *Ocimum Basilicum*

Es una planta anual herbácea que presenta los tallos erguidos que pueden alcanzar una altura de 60 cm. Las hojas son pecioladas, ovaladas, lanceoladas, de dimensiones muy variables según la especie, igual que su color que varía del verde intenso al verde oscuro, al morado o al púrpura según las variedades. Las hojas son ricas en aceites esenciales que le otorgan el característico aroma.

Las temperaturas óptimas de cultivo de la albahaca están entre los 20 - 25°C pero con una buena humedad también tolera temperaturas más altas. Es una planta que crece a pleno sol y puede ser cultivada tanto en maceta como en plena tierra. No tolera bien temperaturas por debajo de los 10 °C.

La albahaca debe regarse generosamente pero teniendo cuidado con los encharcamientos. Considerando que son plantas que se riegan muy generosamente y que no toleran los encharcamientos, conviene utilizar terracota que permite respirar a la tierra. Es una planta que necesita luz, por lo que se ubica, preferiblemente, en semi-sombra.

Nombre de la planta	Temperatura °C	Humedad de suelo%	Luminosidad Lux
Albahaca	20 - 25°C	Alta	500 Lux

Tabla 7: Características de temperatura, humedad de suelo y luminosidad ideales para el buen crecimiento de la Albahaca



5.2.1. Pruebas y resultados

Para cumplir con el objetivo de este proyecto, se han hecho varias pruebas, con el fin de desarrollar una aplicación basada en la inteligencia artificial y el procesamiento de señal en tiempo real, que sirva para controlar y modificar en su caso, las condiciones variables de plantaciones, a distancia y por una sola persona, o un grupo reducido de técnicos, sin necesidad presencial y desde cualquier punto en el que se encuentren. Para ello, se han seguido los pasos que aparecen en la Figura 5-8.

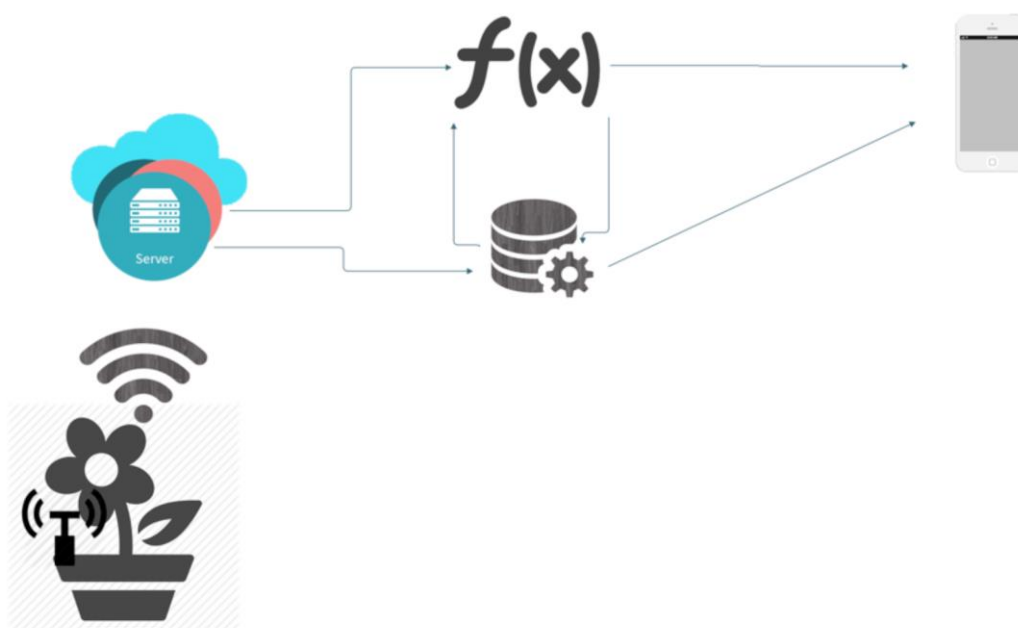


Figura 5-8: Diagrama de la Arquitectura Software del sistema propuesto

Se coloca el sistema especializado en el uso de la tecnología WI-FI al lado de la planta. De hecho, se clava el sensor de humedad de suelo en la tierra y la aplicación junto a la planta ya que lleva dentro los sensores de temperatura y luz.



Figura 5-9: Sensor de humedad de suelo clavado en la tierra de la planta

5.2.2. Resultados obtenidos

Nombre de la planta	Temperatura	Humedad de suelo%	Luminosidad Lux
Albahaca	15°C	25%	498lux

Tabla 8: Resultados primeros obtenidos utilizando la aplicación

Como puede observarse en la Tabla 8, al hacer las medidas necesarias, existen diferencias entre los resultados deseados de la temperatura, luz y humedad del suelo que debe tener la planta y los resultados obtenidos.

A partir de estos resultados, el sistema propuesto activa el sistema de riego utilizando la válvula para aumentar el valor de la humedad de suelo. También será necesario mover la planta a un sitio más cálido para poder obtener una temperatura más alta para la planta.

De este modo, el sistema empezará a cambiar su estado en tiempo real, para tener mayor control de crecimiento de los cultivos como puede apreciarse en la Tabla 9.



Nombre de la planta	Tiempo	Temperatura °C	Humedad de suelo%	Luminosidad Lux
Albahaca	12:00	15°C	25%	498 lux
Albahaca	12:10	16°C	24%	490 lux
Albahaca	12:20	17°C	26%	500 lux
Albahaca	12:30	17°C	26%	510 lux
Albahaca	12:40	18°C	49%	501 lux
Albahaca	12:50	19°C	60%	489 lux
Albahaca	13:00	20°C	68%	499 lux

Tabla 9: Mejora de los resultados obtenidos utilizando el Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Mediante Bases De Datos No Relacionales E Inteligencia Artificial

Como conclusión el Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Mediante Bases De Datos No Relacionales E Inteligencia Artificial ha mejorado los resultados obtenidos, acercándolos a los resultados deseados o ideales que debería tener la planta, estando en mejores condiciones de temperatura, luz y humedad de suelo. De este modo, la aplicación podría maximizar la producción y rendimiento final que es uno de los aspectos más complejos del cultivo.

5.3. La petunia



Figura 5-10: La petunia



Las petunias son plantas herbáceas de tipo perenne que forman parte de la familia de las solanáceas. Esta planta tiene su origen en las tierras de Brasil y de Argentina y cuenta con flores que se presentan de forma individual o doble. Así mismo pueden ser determinadas o indeterminadas, y pueden poseer bordes ondulados o lisos. La floración de esta planta ocurre en época de primavera, pero también se puede dar en verano.

Esta planta necesita buena cantidad de luz que debe obtenerse con exposición directa al sol. Así mismo requiere un buen clima templado, aunque es muy resistente al frío.

El suelo en el que se siembre esta planta debe contar con buenos nutrientes, también debe tener buen drenaje y siempre contar con buena humedad. Por eso requiere un riego abundante, sobre todo en época de floración.

5.3.1. Pruebas y resultados

Se han hecho las mismas pruebas citadas antes para la Albahaca pero está vez en época de primavera y se han obtenido los resultados que aparecen en la Tabla 10.

Nombre de la planta	Temperatura °C	Humedad de suelo%	Luminosidad Lux
La Petunia	17°C	Alta	520 lux

Tabla 10: Características de temperatura, humedad de suelo y luminosidad ideales para el buen crecimiento de la petunia

La temperatura de la planta no es la deseable y la luz es bastante baja en las primeras medidas. Por eso en este ejemplo el sistema propuesto interviene para mejorar los resultados obtenidos y acercarlos a los resultados deseables.



Nombre de la planta	Tiempo	Temperatura °C	Humedad de suelo %	Luminosidad Lux
La Petunia	10:11	17°C	80%	1028 lux
La Petunia	10:21	17°C	80%	1029 lux
La Petunia	10:31	18°C	80%	1030 lux
La Petunia	10:41	19°C	80%	1033 lux
La Petunia	10:51	20°C	80%	1030 lux
La Petunia	11:01	19,5°C	80%	1009 lux
La Petunia	11:11	19,5°C	80%	981 lux
La Petunia	11:21	19°C	80%	868 lux
La Petunia	11:31	20°C	80%	823 lux
La Petunia	11:41	19°C	80%	765 lux
La Petunia	11:51	19,5°C	80%	603 lux
La Petunia	12:01	19,5°C	80%	555 lux
La Petunia	12:11	20°C	80%	527 lux
La Petunia	12:21	20°C	80%	520 lux
La Petunia	12:31	19,5°C	80%	510 lux

Tabla 11: Mejora de los resultados obtenidos utilizando el Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Mediante Bases De Datos No Relacionales E Inteligencia Artificial

Como conclusión el Sistema De Monitorización Mediante Sensores En Tiempo Real De Cultivos Mediante Bases De Datos No Relacionales E Inteligencia Artificial ha mejorado los resultados obtenidos, acercándolos a los resultados deseados. De este modo, la aplicación podría maximizar la producción o rendimiento final que es uno de los aspectos más complejos del cultivo.

5.5. Conclusión

Las competencias del proyecto incluyen la monitorización de cultivos domésticos (plantas, bonsáis), explotaciones, especímenes delicados (jardines botánicos) analizando las condiciones del cultivo en concreto y comparándolas con las condiciones óptimas recomendadas definidas mediante el sistema de inteligencia artificial.

El objetivo del sistema era la monitorización en tiempo real de cultivos tomando medidas de temperatura, intensidad de la luz y humedad del sustrato.



Dichas muestras han permitido tanto conocer el estado de la planta muestreada como informar de su crecimiento y evolución a una base de datos “cloud” accesible como forma de estudio y toma de datos sobre los cultivos. Todo eso se ha realizado a través de una aplicación web accesible desde cualquier terminal móvil o fijo con acceso a internet.

El uso de sensores de muestreo en tiempo continuo y el tratamiento de Big Data revela información que hasta ahora permanecía oculta. De hecho, la inteligencia artificial se muestra como la forma más fiable y aceptada para la generación de recomendaciones basadas en casos anteriores.



CAPÍTULO 6.

CONCLUSIONES Y

TRABAJO FUTURO



6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. Conclusiones del proyecto

Para realizar este Sistema de monitorización mediante sensores en Tiempo Real de cultivos mediante Bases de Datos no Relacionales e Inteligencia Artificial, ha sido necesario el estudio de diferentes y múltiples tecnologías del mundo agrícola.

Plantear el proyecto desde el principio hasta el final, no ha sido fácil y el camino ha sido bastante largo, lleno de retos y dificultades.

La realización de una simple idea surgida por tener una vida muy ligada a la naturaleza y plasmarla a un sistema, ha necesitado mucho trabajo y mucho esfuerzo desde el punto de vista de diseño, creación, conexión de componentes, desarrollo de aplicación web, procesado de datos y señales etc.

En este proyecto se ha utilizado el hardware y software de forma muy avanzada, de tal forma que:

- Se ha hecho la conexión entre la placa Raspberry Pi, conversor Delta Sigma Pi, sensor de temperatura LM35, sensor de humedad de suelo, sensor de intensidad de luz, válvula y antena Wifi.

- En la arquitectura de la aplicación web, se ha usado Meteorjs para el Back-End, Meteorjs, Angularjs, CSS3 Y HTML5 para el Front-End y Mongo DB en la base de datos.

- Se han calibrado los sensores, se han realizado pruebas infinitas sobre diferentes plantas y se ha intentado hacer la tomas de medidas en diferentes condiciones de luz, temperatura y luminosidad para poder ver todos los casos posibles de errores a la hora de hacer las medidas.

- Después de las medidas, la información recogida por los sensores se guarda en la base de datos y se muestra en la aplicación web. El sistema va guardando los datos procesados para hacer mejoras en las siguientes recogidas.



Para ello, se han cumplido satisfactoriamente los objetivos planteados previamente al desarrollo del sistema y también, como uso práctico, se han cumplido las motivaciones iniciales que dieron lugar a este proyecto.

6.2. Trabajo futuro derivado de la aplicación desarrollada

El sistema aquí desarrollado y expuesto, ofrece grandes posibilidades de aplicación en otros campos productivos, que requieren el control constante de diferentes parámetros durante sus procesos de producción.

Existen infinitas posibilidades de futuros proyectos utilizando como base este sistema, ya que se pueden incorporar mejoras, como:

- Integración de nuevos sensores.
- Desarrollo más avanzado de los módulos de la inteligencia artificial y creación de un sistema que genere recomendación atendiendo al tipo de la planta, posición geográfica, condiciones climáticas, etc.
- Fabricación de una placa especial y exclusiva para el sistema, sin tener que depender de otros fabricantes y desarrolladores.
- Mejorar la interfaz de la aplicación web y añadir más opciones y datos que se puedan visualizar.
- Mejorar el diseño exterior del dispositivo.

Actualmente se ha empezado a buscar posibles clientes, en el mercado exterior, para la aplicación web y hay bastante gente interesada tanto dentro y fuera de España. Muchos de ellos son ingenieros y empresarios, que han querido colaborar y ayudar en lo que puedan. Esto se debe a que el target del producto es amplio y abarca desde el uso doméstico, hasta uso industrial, pasando por uso académico y de investigación.



BIBLIOGRAFÍA

[1] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación:
<http://www.fao.org/docrep/003/Y0491s/y0491s02.htm>

[2] PARROT Flower Power:
<http://www.parrot.com/es/productos/flower-power/>

[3] Koubachi Wifi Plant:
<http://store.koubachi.com/index.php?page=product&info=14>

[4] PHYTEC Wireless Plant Monitoring System:
<http://www.phytech.com>

[5] Sensor de humedad de tierra SEN0114
[http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_\(SKU:SEN0114\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_(SKU:SEN0114))
)

[6] Integración del sensor de humedad de tierra SEN0114 en la Raspberry Pi
[http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_\(SKU:SEN0114\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_(SKU:SEN0114))
)

[7] Código de instalación del sensor de humedad de suelo en la Raspberry Pi
[http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_\(SKU:SEN0114\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_(SKU:SEN0114))
)

[8] Tester Medidor Solar Ph + Humedad + Luz Planta.
<http://www.h2o-systems.net/es/Otros-articulos/Medidor-de-pHLuz-y-Humedad-del-Suelo-Plantas.html>

[9] Documentación oficial de Raspberry Pi:
<https://www.raspberrypi.org/documentation/>

[10] Conversor Delta Sigma Pi:
<https://www.abelectronics.co.uk/products/3/Raspberry-Pi/14/Delta-Sigma-Pi>

[11] Wolfram Donat. Learn Raspberry Pi Programming with Python. Editorial: Technology in action.

[12] David Beazley & Brian K. Jones. Python Cookbook, Editorial O'Reilly

[13] Sensor de temperatura LM35
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

[14] Sensor de luz-LDR
http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/40/LDR_NSL19_M51.pdf



[15] Sensor de humedad de tierra SEN92355P
<http://www.datasheetspdf.com/PDF/SEN92355P/837193/1>

[16] Antena Wifi: Micro Adaptador USB Wireless N150:
http://www.dlink.com//media/Consumer_Products/DWA/DWA%20121/Datasheet/DWA_121_Datasheet_EN_DEU.pdf

[17] Meteor Official Documentation:
<http://docs.meteor.com/#/full/>

[18] Angular
<https://angularjs.org>

[19] Mongo DB
<https://www.mongodb.com>

[20] Tom Coleman & Sacha Greif. Discover Meteor. Building Real-Time Javascript Web Apps.



ANEXOS

A.1. Presupuesto estimado

A) Ejecución Material

- Ordenador Personal.....1.500 €
- Raspberry Pi60 €
- Conversor Delta Sigma Pi.....40 €
- Sensor Temperatura, Luz y Humedad.....15 €
- Kit materiales Proyecto (Cables, Válvula, Pilas.....).....50 €
- Total ejecución material.....1.665 €

B) Gastos Generales

- 16% sobre ejecución material.....266,4 €

C) Beneficio Industrial

- 6% sobre ejecución material..... 99,9 €

D) Honorarios Proyecto

- 3000 horas a 15€/hora.....45.000 €

E) Material fungible

- Gastos de impresión250 €
- Encuadernación.50 €

F) Subtotal el presupuesto

- Subtotal presupuesto.....46.965 €

G) I.V.A aplicable

- 21% Subtotal Presupuesto.....9.862,65 €

H) Total presupuesto.....56.827,65 €

Madrid, Junio de 2016

La Ingeniera Jefe de Proyecto

Fdo.: Hind EL Mardi

Ingeniera de Telecomunicación



A.2. Pliego de condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un SISTEMA DE MONITORIZACIÓN MEDIANTE SENSORES EN TIEMPO REAL DE CULTIVOS UTILIZANDO BASES DE DATOS NO RELACIONALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.



6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le



correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta



la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad “Presupuesto de Ejecución de Contrata” y anteriormente llamado “Presupuesto de Ejecución Material” que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.



3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones, así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.