

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Desarrollo de dispositivo de optimización de consumo de una bomba de riego

Autor: Juan Lara Gavira
Tutor: José Manuel Fornés Rumbao

Dpto. Ingeniería Telemática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Desarrollo de dispositivo de optimización de consumo de una bomba de riego

Autor:
Juan Lara Gavira

Tutor:
José Manuel Fornés Rumbao
Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Telemática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Desarrollo de dispositivo de optimización de consumo de una bomba de riego

Autor: Juan Lara Gavira
Tutor: José Manuel Fornés Rumbao

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría comenzar dando las gracias a mi tutor, José Manuel, por confiar en mí y darme la gran oportunidad de poder participar en este proyecto. Además, agradecer su preocupación, paciencia y ayuda a la hora de abordar este trabajo.

Agradezco a todos y cada uno de mis familiares, de los que siempre he recibido un apoyo incondicional, tanto en los malos como buenos momentos. Pero en especial, a mis padres Juan y María Eugenia, por haber hecho posible tanto mi desarrollo personal como profesional con su esfuerzo y sacrificio.

Agradezco a mis amigos de toda la vida, así como a estos nuevos que han surgido en esta gran etapa y que tanto hemos vivido juntos, esas noches sin dormir de bunker, aquellas tardes infinitas de prácticas y esos trabajos en grupo que sacaban tanto lo mejor como lo peor de cada uno, pero que al final siempre acababan en una cerveza y un aluvión de risas que curaban todo.

Agradecer a la propia Escuela, ETSI, a su biblioteca y centro de cálculos en donde tanto tiempo he pasado y tantísimo he aprendido, a esos temidos sótanos en donde he vivido tantas emociones contradictorias que no se podrían describir con palabras, y sobre todo agradecer a ese magnífico equipo de profesores y tutores que han hecho de mi objetivo el suyo propio.

Resumen

Las nuevas tecnologías están cada vez más presentes en la práctica de la agricultura, principal fuente de alimentos para la población, mejorando no solo la producción, sino que también provocando grandes ahorros en costes a medio y largo plazo.

En este proyecto se realiza el estudio, diseño e implementación de un dispositivo electrónico optimizador de consumo para bombas hidráulicas empleadas para el riego en la agricultura. En concreto, en zonas con gran desnivel entre la fuente hídrica y el terreno, así como incomunicadas eléctricamente.

Previamente, para poder entrar en contexto se ha realizado un estudio histórico de la agricultura de regadío y su importancia en la actualidad.

En cuanto al diseño del dispositivo, se ha basado su funcionamiento en el control de la presión hidráulica sometida en el orificio de entrada de la bomba de riego, con la finalidad de poder evaluar si con el caudal obtenido a la entrada de la bomba se puede cubrir las necesidades hídricas de ciertos sectores del terreno a irrigar.

Por otro lado, respecto a la implementación, se ha desarrollado un dispositivo análogo al original estudiado, debido a la no disposición del elemento principal como es la bomba hidráulica.

Por último, se ha realizado una simulación con los dos posibles casos a obtener, uno inicial donde la presión de entrada en la bomba no es suficiente por lo que no existiría una optimización de consumo, y una segunda en donde la presión sí que alcanza un umbral capaz de abastecer las necesidades hídricas de un sector del terreno pudiéndose obtener valores en cuanto a optimización de consumo de la bomba se refiere.

Abstract

New technologies are increasingly present in the practice of agriculture, the main source of food for the population, improving not only production, but also causing great cost savings in the medium and long term.

In this project the study, design and implementation of an electronic device optimizing consumption for hydraulic pumps used for irrigation in agriculture is carried out. Specifically, in areas with great unevenness between the water source and the land, as well as electrically isolated.

Previously, in order to enter into context, a historical study of irrigated agriculture and its importance has been carried out today.

Regarding the design of the device, its operation has been based on the control of the hydraulic pressure submitted to the inlet hole of the irrigation pump, in order to be able to assess whether the flow obtained at the pump inlet can be cover the water needs of certain sectors of the land to be irrigated.

On the other hand, regarding the implementation, a device similar to the original studied has been developed, due to the non-disposition of the main element such as the hydraulic pump.

Finally, a simulation has been carried out with the two possible cases to be obtained, an initial one where the inlet pressure at the pump is not sufficient, so there would be no optimization of consumption, and a second where the pressure does reach a threshold capable of supplying the water needs of a sector of the land, being able to obtain values regarding optimization of pump consumption.

-translation by google-

Índice

Agradecimientos	8
Resumen	10
Abstract	12
Índice	13
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras	15
1 Introducción	11
2 Objetivos del Proyecto	12
3 Visión Global del Riego en la Agricultura	13
3.1 <i>CONTEXTO HISTÓRICO DEL RIEGO EN LA AGRICULTURA</i>	14
3.2 <i>CONTEXTO ACTUAL DEL RIEGO EN LA AGRICULTURA</i>	17
3.2.1 <i>LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL SECTOR AGRÍCOLA</i>	17
3.2.2 <i>PRINCIPALES MÉTODOS DE RIEGO EN LA ACTUALIDAD</i>	18
4 Sistemas de Riego	24
4.1 <i>BOMBAS HIDRÁULICAS</i>	25
4.1.1 <i>TIPOS DE BOMBAS SEGÚN SU FUNCIONAMIENTO</i>	25
4.1.2 <i>TIPOS DE BOMBAS SEGÚN SU ACCIONAMIENTO</i>	28
5 Datos Principales de Partida	30
5.1 <i>CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA Y NECESIDADES HÍDRICAS</i>	30
5.1.1 <i>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PARCELA</i>	30
5.1.2 <i>DATOS DE LA Balsa DE RIEGO</i>	30
5.1.3 <i>NECESIDADES HÍDRICAS</i>	30
5.2 <i>ELEMENTOS DEL SISTEMA DE RIEGO</i>	30
6 Dispositivo de optimización de consumo	33
6.1 <i>SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS</i>	33
6.2 <i>CONEXIONES Y CONFIGURACIONES</i>	39
6.3 <i>FUNCIONAMIENTO BÁSICO</i>	52
7 Simulación casos prácticos	54
7.1 <i>CASO PRÁCTICO 1</i>	56
7.2 <i>CASO PRÁCTICO 2</i>	57
7.3 <i>RESULTADOS OBTENIDOS</i>	59
8 Conclusiones y futuras líneas de trabajo	60
8.1 <i>CONCLUSIONES</i>	60
8.2 <i>FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO</i>	61
Referencias	62
Anexo A: Códigos Realizados	64
Anexo B: Presupuesto	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costes Cultivo Almendro Secano/Regadío	11
Tabla 2. Retiradas de agua a nivel mundial	17
Tabla 3. Esquema Riego por Superficie	19
Tabla 4. Esquema Riego por Aspersión	21
Tabla 5. Esquema Riego por Goteo	23
Tabla 6. Curva Característica Bomba de Riego	25
Tabla 7. Características Técnica Motobomba	31
Tabla 8. Tabla de Descarga Goteros	32
Tabla 9. Comparativa Módulos con Microcontroladores	33
Tabla 10. Especificaciones Técnicas Arduino UNO Rev3	34
Tabla 11. Comparativa Módems GSM/GPRS	35
Tabla 12. Necesidades Hídricas	59
Tabla 13. Optimización de Consumo	59
Tabla 14. Presupuesto Dispositivo	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comienzo de la agricultura en el Neolítico	13
Figura 2. Fases de las crecidas del Rio Nilo	14
Figura 3. Canalización de Aguas por Qanats	15
Figura 4. Chadouf	16
Figura 5. Tornillo Arquímedes	16
Figura 6. Noria	16
Figura 7. Estructura Acueducto	16
Figura 8. Dendrómetro	18
Figura 9. Drones irrigando sup. cultivada	18
Figura 10. Riego Surcos a Nivel	19
Figura 11. Riego Manta canteros planos	20
Figura 12. Riego libre	20
Figura 13. Tuberías fijas	21
Figura 14. Cañones de Riego	21
Figura 15. Carros de riego	22
Figura 16. Pivote Central	22
Figura 17. Riego por Goteo	23
Figura 18. Riego tuberías emisoras	23
Figura 19. Riego por microaspersión	23
Figura 20. Esquema Sistema de Riego	24
Figura 21. Bomba Pistón	26
Figura 22. Bomba Paletas	26
Figura 23. Bomba Engranaje	26
Figura 24. Bomba Centrífuga	27
Figura 25. Bomba Axial	27
Figura 26. Bomba Helicentrífugas	27
Figura 27. Bomba de Mano	28
Figura 28. Bomba de Ariete	28
Figura 29. Bomba doble Membrana	28
Figura 30. Bomba eléctrica centrífuga	29
Figura 31. Motobomba centrífuga	29
Figura 32. Motobomba Honda	30

Figura 33. Esquema Sistema Riego	32
Figura 34. Esquema Arduino UNO Rev3	34
Figura 35. Módulo GPRS A6	35
Figura 36. Generador 4-40mA/0-10V	36
Figura 37. Pantalla LCD RG1602A	37
Figura 38. Acople ambos dispositivos	37
Figura 39. Fuente Alimentación	38
Figura 40. Conexión de encendido fuente alimentación	39
Figura 41. Canales de Tensión aportados por la fuente de alimentación.	40
Figura 42. Conexiones Generador de Señales	40
Figura 43. Conexiones Módulo GPRS	41
Figura 44. Conexión Módulo Arduino - Ordenador	42
Figura 45. Esquema Sistema completo Dispositivo simulador	42
Figura 46. Thingsboard Community	43
Figura 47. Thingsboard Proffesiona	43
Figura 48. Agregar Dispositivo Arduino UNO a Thingsboard	44
Figura 49. Creación Dashboard en Thingsboard	44
Figura 50. Asignación Dispositivo al Dashboard en Thingsboard	45
Figura 51. Asignación parámetros widget “Voltaje”	46
Figura 52. Widget Indicador de Alarma Thingsboard	46
Figura 53. Configuración Alarma Visual en Thingsboard	47
Figura 54. Diagrama Flujos: Lógica Microcontrolador	48
Figura 55. Librería tinyGSM Arduino	49
Figura 56. Librería Thingsboard Arduino	50
Figura 57. Credenciales Dispositivo Arduino en Thingsboard	51
Figura 58. Configuración alarma de presión	55
Figura 59. Generador de Señales Caso 1	56
Figura 60. Valores obtenidos en el módulo Arduino Caso 2	56
Figura 61. Imagen del servidor Thingsboard tras recepción datos Caso 1	57
Figura 62. Generador Señales Caso 2	57
Figura 63. Valores obtenidos en el módulo Arduino Caso 2	58
Figura 64. Imagen del servidor Thingsboard tras recepción datos Caso 2	58

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, en España, la agricultura de regadío constituye más del 65% de la producción vegetal, lo que supone aproximadamente un 11% de la economía española, dando empleo a más de 2,5 millones de personas. Estos datos, demuestran la gran importancia que tiene hoy día en la sociedad y economía esta práctica.

La agricultura de regadío, consiste en el suministro de agua a los cultivos mediante diferentes métodos artificiales de riego, con el fin de satisfacer las necesidades hídricas de la vegetación no aportadas por las precipitaciones naturales.

Este tipo de cultivo posee grandes ventajas frente a los cultivos de secano, en donde en estos últimos no se realiza un aporte externo de agua para abastecer la insuficiencia hídrica.

Entre estas ventajas, se pueden localizar:

- Crea diversidad de cultivos
- Aumenta la producción
- Evita problemas con periodos de sequía.

Pero a su vez, estos cultivos poseen uno de los mayores inconvenientes, el gran coste de inversión y el aumento del coste de mantenimiento y mano de obra, todo ello causado por el requerimiento de mayores infraestructuras y un exhaustivo seguimiento de las mismas, debido a los posibles problemas con estas, como por puede ser la posibilidad de una obstrucción o rotura de tubería, llegando a suponer esta inversión inicial un aumento de entre un 20 y 40% de los costes totales a diferencia de los cultivos de secano.

Almendo (secano)			Almendo regadio					
Costes (euros/ha)			Costes (euros/ha)					
Mat. Primas	Herbicidas	-	Mat. Primas	Herbicidas	57,50			
	Insecticidas y fungicidas	61,60		Mat. Primas	Insecticidas y fungicidas	132,00		
	Fertilizantes	46,20			Mat. Primas	Fertilizantes	165,00	
	Carburantes y lubricantes	16,94				Mat. Primas	Carburantes y lubricantes	30,25
	Suma parcial	124,74					Mat. Primas	Cinta riego goteo
Maquinaria	Poda y desvareto	92,40	Maquinaria					Suma parcial
	Mantenimiento	77,00		Maquinaria				Poda y desvareto
	Tratamientos	46,20			Maquinaria			Mantenimiento
	Recolección	231,00				Maquinaria		Tratamientos
	Suma parcial	446,60					Maquinaria	Recolección
Mano Obra	Poda y desvareto	184,80	Mano de Obra					Suma parcial
	Mantenimiento	277,20		Mano de Obra				Montaje y desmontaje goteo
	Tratamientos	77,00			Mano de Obra			Riego
	Recolección	431,20				Mano de Obra		Poda y desvareto
	Suma parcial	970,20					Mano de Obra	Mantenimiento
Otros Gast.	Amortización cultivos leñosos	60,00	Otros gastos					Tratamientos
	Renta de la tierra	115,00		Otros gastos				Recolección
	Seguro de la cosecha	95,00			Otros gastos			Suma parcial
	Suma parcial	270,00				Otros gastos		Amortización cultivos leñosos
	Costes totales (euros/ha)	1.811,54					Otros gastos	Renta de la tierra
		Otros gastos	Seguro de la cosecha					157,50
			Otros gastos	Amortización cabezal riego y mangueras				72,60
				Otros gastos	Coste del agua C.R. (energía)			220,93
					Otros gastos	Coste del agua C.R. (Admon. y Gestión)		80,35
						Otros gastos	Canon y tarifa CHG	56,57
		Otros gastos					Suma parcial	837,95
			Otros gastos				Costes totales (euros/ha)	3.316,90

Tabla 1. Costes Cultivo Almendo Secano/Regadío

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Como objetivo principal de este proyecto se tiene el estudiar, analizar y diseñar un dispositivo electrónico que permita realizar un estudio de viabilidad referente a la capacidad de emisión de caudal de una bomba de riego sin ser puesta en funcionamiento, a través de la obtención de sus presiones hidráulicas, con la finalidad de poder realizar una optimización en el consumo de combustible de la misma.

Para ello, en primer lugar, se tratarán los subtemas enfocados a poner un contexto sobre el tema principal del proyecto:

- Describir la evolución adoptada en los sistemas de riego en la agricultura desde sus inicios hasta la actualidad, así como la influencia de las nuevas tecnologías en estos mismos.
- Enumerar los diferentes métodos de riego en la actualidad.
- Clasificar los distintos tipos de bombas de riego existentes en el mercado, tanto por su funcionamiento como por su accionamiento.
- Definir las características que presenta el sistema de riego a optimizar.

Una vez puesto en contexto el tema abordado en este trabajo, se pasará a los subtemas relacionados con el diseño y desarrollo del dispositivo electrónico.

En este caso, los subobjetivos a tratar son:

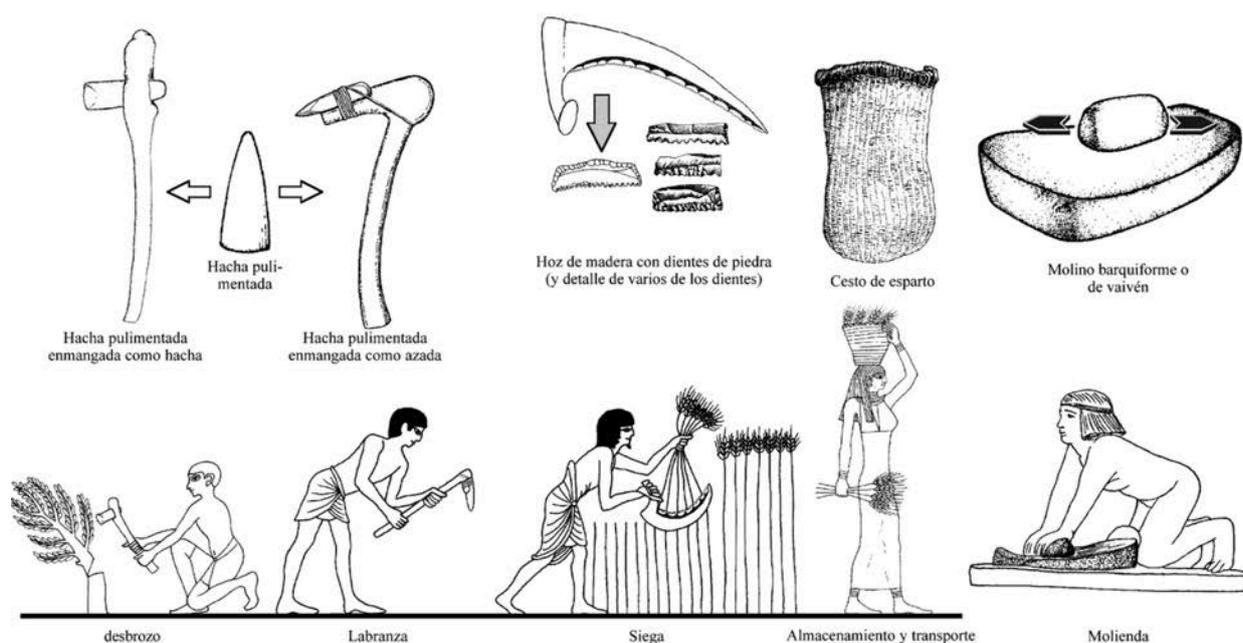
- Seleccionar los elementos empleados para la construcción del dispositivo, así como especificar sus características principales.
- Describir las conexiones entre los diferentes elementos del sistema, así como las configuraciones administradas a cada uno de ellos.
- Analizar el funcionamiento básico del dispositivo.

Y, por último, se realizará un estudio del funcionamiento del dispositivo en una simulación práctica con la que se podrá obtener unas conclusiones funcionales del mismo.

3 VISIÓN GLOBAL DEL RIEGO EN LA AGRICULTURA

La agricultura, conocida como el conjunto de prácticas desarrolladas por el hombre con el fin de cultivar la tierra para la obtención de alimentos, es aún motivo de estudio para el ser humano. Estimándose sus inicios en el periodo Neolítico por alrededor del 9000a.C. en las regiones de Oriente Medio, donde la economía de algunas sociedades humanas se vio obligada a evolucionar como respuesta al cambio climatológico tras la última glaciación, de una economía de subsistencia a una de producción, cuyo objetivo paso de ser la apropiación de los recursos necesarios a la producción de estos mismos, transformando las labores de caza, pesca y recolección en lo que se conoce hoy día como agricultura y ganadería, tareas que permiten asegurar la obtención de alimentos y no su extinción.

LA REVOLUCIÓN DEL NEOLÍTICO: LA AGRICULTURA



PROCEDENCIA: Hacha enmangada de una cueva sepulcral valenciana; azada enmangada de sepulcro neolítico francés; hoz enmangada del neolítico egipcio; cesto de esparto neolítico de la cueva de los Murciélagos (Murcia); escenas costumbristas egipcias extraídas de pinturas murales de mastabas de nobles funcionarios; figurilla femenina moliendo, ushebtí de una mastabas de nobles funcionarios

Figura 1. Comienzo de la agricultura en el Neolítico

Esta introducción en las nuevas prácticas de la agricultura y ganadería llevo consigo un gran cambio en las sociedades, conocido como la sedentarización de los núcleos poblacionales, provocando así un aumento demográfico, nuevas enfermedades incluso diferencias sociales debido a la aparición de los bienes inmuebles.

Estos inicios de sedentarismo en diferentes zonas tras la aparición de la agricultura y ganadería, llevó a introducir la conocida gran fuente de vida, el Agua, en estas nuevas prácticas, lo que se denominó agricultura de regadío.

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO DEL RIEGO EN LA AGRICULTURA

Los primeros registros del empleo del agua como fuente de vida en la agricultura datan alrededor del 6000 a.C., en los núcleos poblacionales de Oriente Medio, en donde se usaban los ríos Nilo, Tigris y Éufrates como principales fuentes hídricas.

Estos núcleos empleaban las diferentes fases de crecidas de los ríos para la fertilización de las tierras y su posterior siembra y recolección, creando así su calendario anual con tres únicas estaciones: Akhet (Julio, Agosto y Septiembre), Peret (de Octubre hasta Abril) y Shemu (de Mayo a Junio), cada una de ellas relacionadas con las diferentes épocas del caudal de los ríos: Inundación, Siembra y Recolección.

Las fuertes precipitaciones estacionales de la época provocaban un aumento considerable del caudal en los ríos, los cuales desbordaban sus cauces inundando así sus orillas. Durante estas inundaciones parte del agua era infiltrada por la tierra provocándose una reacción junto con esta misma dando lugar a una capa de lodo en la superficie denominada limo, la cual contenía un porcentaje elevado de fertilizantes naturales que beneficiaban a los cultivos provocando un aumento notable de la producción.

Una vez estas aguas iban bajando su nivel llegaba el periodo de la siembra, en donde las orillas de los ríos previamente inundadas eran sembradas por los agricultores aprovechando esa capa de lodo como fertilizante.

Y, por último, una vez realizado el proceso de la siembra y los cultivos habían generado los frutos se procedía con el periodo de recolección, en donde los agricultores recogían los frutos generados por los cultivos.



Figura 2. Fases de las crecidas del Río Nilo

Estos grandes avances respecto a la producción alimentaria en la práctica de la agricultura desarrollada en los núcleos poblacionales de Oriente Medio, determinaron el rumbo de la historia dando lugar a las primeras ciudades-estado, Mesopotamia y Egipto, entre el 4000a.C. y el 3000a.C.

Esta jerarquización y división en diferentes ciudades-estado, provocó un aumento del uso de las aguas tanto para la vida cotidiana como para los cultivos con objeto de aumentar la producción agrícola para abastecer el crecimiento poblacional, dando lugar a una intensificación del estudio de las fuentes hídricas y sus modos de empleo en la agricultura. Un claro ejemplo fue la creación de una nueva medida de inundación denominada Nilómetro, la cual permitía indicar el nivel de caudal del propio río Nilo. Esta medida era obtenida mediante la inserción de una columna vertical con diferentes marcas de nivel en medio del río, permitiendo conocer así la profundidad de este. Así mismo, comenzaron a surgir los primeros sistemas de canalización, que permitían transportar las aguas obtenidas por las inundaciones de los ríos hasta balsas artificiales próximas, donde se almacenaban para su posterior uso en los campos de cultivo.

Uno de los primeros proyectos de canalización se establece según estudios en la primera dinastía de Egipto bajo el mandato del rey Menes aproximadamente por el 3000a.C., que permitía canalizar el agua del río Nilo hasta el lago Moeris.

Hacia el 2500a.C. en la antigua Persia surgieron los Qanats, infraestructuras hidráulicas que permitían, a través de un sistema de pozos que conjugaban en un único canal, llevar las aguas recogidas de las lluvias y filtradas por la tierra desde el desierto hasta los núcleos poblacionales.

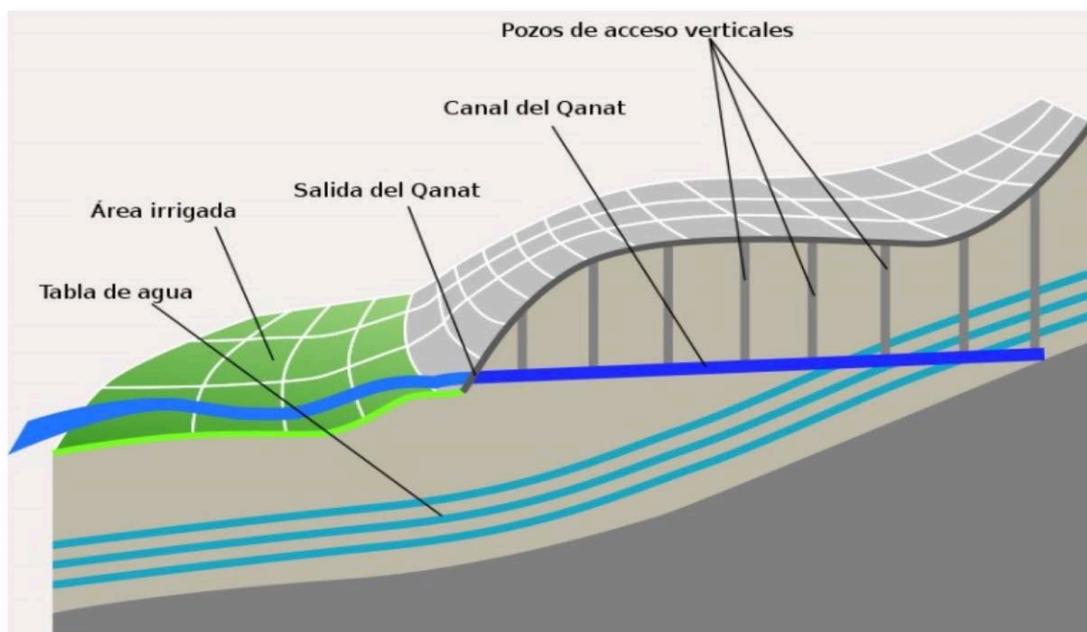


Figura 3. Canalización de Aguas por Qanats

Estos sistemas de canalización iniciales, con el paso del tiempo tenían el gran inconveniente del deterioro de los suelos por las inundaciones, provocando una bajada en el nivel del terreno de los ríos con respecto al nivel de las orillas.

Para solventar estos problemas, hacia el 1000a.C., comenzaron a aparecer diferentes artilugios que permitían salvar este obstáculo de desnivel como fueron:

- **Chadouf o shaduf**, consiste en un palo largo de madera sujetado en una estructura al que en un extremo se le ata un cubo para recoger el agua y al otro un peso de barro o piedras que, mediante efectos de palanca permiten obtener el agua de los ríos y canales para trasladarlas a pozos situados en otro nivel del terreno.



Figura 4. Chadouf

- **Tanbur o Tornillo de Arquímedes**, consiste en un cilindro con hélices que mediante un engranaje ejerce movimiento a esas hélices permitiendo hacer ascender el agua a través de ellas obteniéndola en un lugar más elevado. Se reconoce dicho invento a Arquímedes de ello su nombre, pero existen diferentes estudios que ponen una previa existencia del mismo en el Antiguo Egipto.



Figura 5. Tornillo Arquímedes

- **Noria o Sakia**, sistema mecánico de tres ruedas de las cuales la primera, una rueda horizontal, permite el accionamiento mediante tracción animal o humana de una segunda rueda vertical que esta unida mediante un eje a una tercera rueda vertical la cual contiene cubos que se encuentran en contacto con el agua, permitiendo así elevar esta de los ríos y canales.

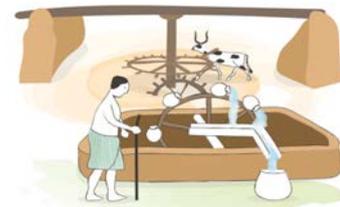


Figura 6. Noria

Posterior a estos canales elaborados mediante el uso de la propia tierra para dirigir el agua, sobre el 300a.C., los ingenieros romanos perfeccionaron la técnica mediante el uso de la piedra y el hormigón, permitiendo así la construcción de los mayores canales de distribución de agua hacia núcleos urbanos alejados de fuentes hídricas conocidos hasta el momento, los denominados acueductos, que permitían abastecer a ciudades como la propia Roma de agua para servicios entro los cuales uno de los principales sería el riego.

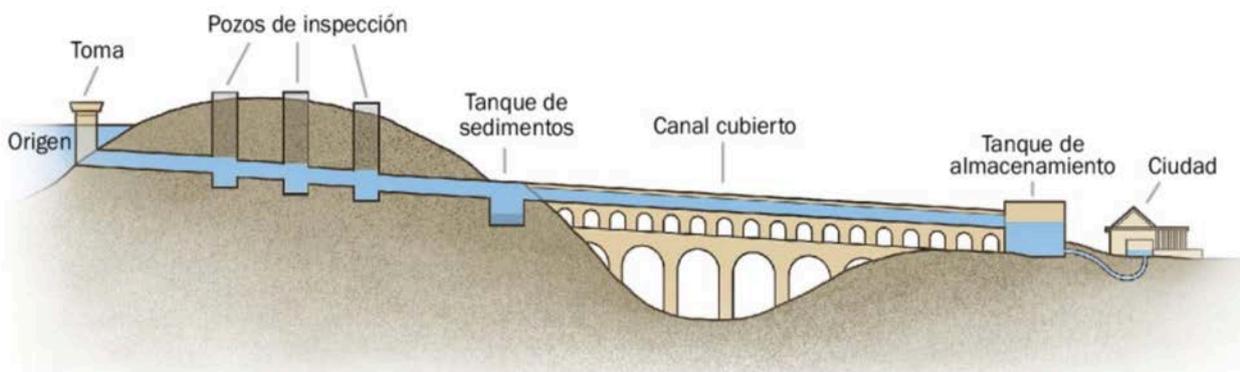


Figura 7. Estructura Acueducto

3.2 CONTEXTO ACTUAL DEL RIEGO EN LA AGRICULTURA

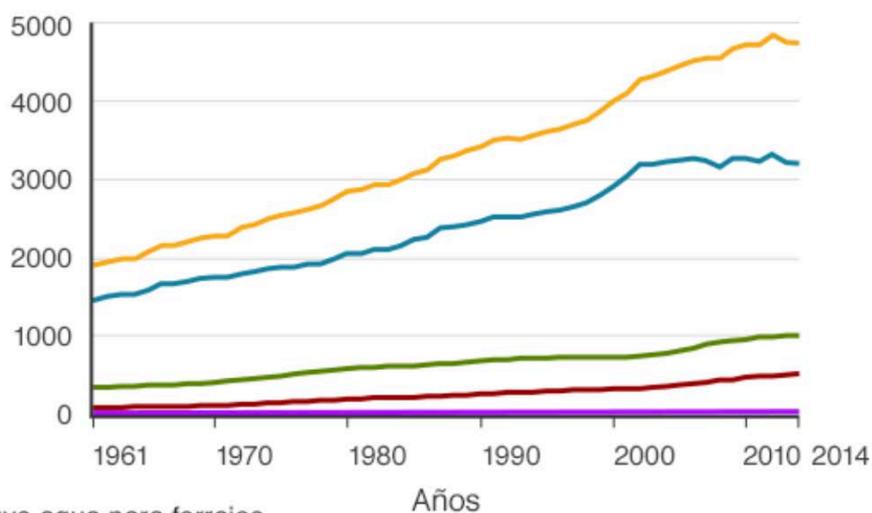
Tal y como se comenta en el apartado anterior, el agua como principal fuente de vida en la agricultura se ha empleado desde edades muy tempranas, pero con el paso del tiempo la demanda de productos alimenticios ha aumentado notablemente con una relación proporcional al crecimiento de la población, produciendo así unas necesidades hídricas superiores cada año.

En la actualidad, según informes del WRI (World Resources Institute), en tan solo medio siglo se ha aumentado en más de un 100% la cantidad de agua empleada por el hombre, en donde a su vez un 70% de esa cantidad total de agua dulce extraída a nivel mundial se emplea para el riego en la agricultura.

Retiradas globales de agua 1961-2014

■ Total ■ Irrigación ■ Industrial ■ Uso doméstico ■ Ganado*

Retirada en km³/año



*No incluye agua para forrajes

Fuente: WRI Aqueduct, Hofste et al. 2019

BBC

Tabla 2. Retiradas de agua a nivel mundial

3.2.1 LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL SECTOR AGRÍCOLA

El crecimiento demográfico, que aumenta considerablemente con el paso de los años, hace que la población se vea involucrada en una gran crisis hídrica, en donde existe una gran escasez de agua dulce. Por ello, el introducir las nuevas tecnologías en la agricultura hace que sea tarea indispensable para la continuidad y desarrollo de los seres humanos, ya que esta está considerada la mayor fuente de productos alimenticios.

Esta situación de riesgo hídrico por escasez de agua dulce, provoca que las nuevas tecnologías integradas en la agricultura sigan una fuerte tendencia en cuanto a la posibilidad de optimización del agua empleada para el riego. Esto es debido, a que como se comenta anteriormente, el riego en la agricultura ocupa el mayor uso de porcentaje de agua dulce extraída a nivel mundial.

Un claro ejemplo de este uso de las nuevas tecnologías en cuanto a la optimización del empleo de las aguas en los cultivos se refiere es el riego localizado por goteo, que permite ahorrar entre un 30-50% del agua frente a otros tipos de riego usados con mayor frecuencia en periodos anteriores como por ejemplo es el riego por superficie de inundación.

Por otro lado, estas nuevas tecnologías no solo se centran en la optimización del agua empleada para el riego, sino que también permiten reducir el impacto ambiental, conservar los recursos naturales como el propio suelo e incluso una equidad social, permitiendo la sostenibilidad y desarrollo de países con menos recursos energéticos.

Como ejemplos de estas nuevas tecnologías en la agricultura podrían ser la instalación de una pequeña estación climática de recogida y procesamiento de datos, en donde se obtenga la humedad en el suelo mediante sensores incorporados en la tierra a diferentes profundidades con el objetivo de conocer la escasez o abundancia de humedad en diferentes sectores del terreno, la realización de un control del crecimiento del tronco de las plantas mediante el uso de un dendrómetro, control del PH del suelo para determinar la acidez del mismo, o incluso monitorizar la conductividad eléctrica.



Figura 8. Dendrómetro



Figura 9. Drones irrigando sup. cultivada

Estas nuevas tecnologías poseen el gran inconveniente de que sus costes de inversión y mantenimiento son demasiado elevados y además se requiere de una extensa formación para su correcto empleo, lo que hace que obtenga actualmente cierto rechazo por una gran parte del sector agrícola.

Por ello, actualmente una gran fuente de estudio es la optimización de los costes de mantenimiento de los cultivos, en donde existen estudios experimentales que confirman que los gastos de la inversión se recuperan a muy corto plazo debido a grandes ahorros en los recursos energéticos como son el agua, fertilizantes, combustibles, electricidad, etc.

3.2.2 PRINCIPALES MÉTODOS DE RIEGO EN LA ACTUALIDAD

Hoy día, existen diferentes métodos de abastecer las necesidades hídricas de los cultivos según sus diferentes formas de suministrar el agua.

Todo depende de diversos factores como pueden ser la topografía del suelo, calidad del agua, características de la tierra, tipo de cultivo, disponibilidad del agua, etc., permitiéndose así definir la mejor metodología posible para la aportación de agua en cada tipo de cultivo.

Actualmente existen tres métodos principales de suministrar el agua en los cultivos:

3.2.2.1 RIEGO POR SUPERFICIE

Se trata del sistema de regadío con más antigüedad conocido hasta el momento, en donde su objetivo se centra en que el agua circule por gravedad a través de unos sistemas de canalización establecidos por el propio terreno cultivado.

Hasta el momento, sigue siendo uno de los sistemas más empleados a nivel mundial debido a su bajo coste en infraestructuras y mantenimiento, ya que la propia tierra es el principal material. Por el contrario, es el método de riego con mayores pérdidas de agua, debido a las infiltraciones de la tierra y las posibles erosiones que provocan que el cultivo no sea irrigado de forma eficiente. Dentro de los riegos por superficie se pueden encontrar dos subcategorías importantes según la pendiente del terreno:

- Riego por escurrimiento en el caso de que el terreno no posea pendiente.
- Riego por inundación en el caso de que el terreno si que tenga pendiente.

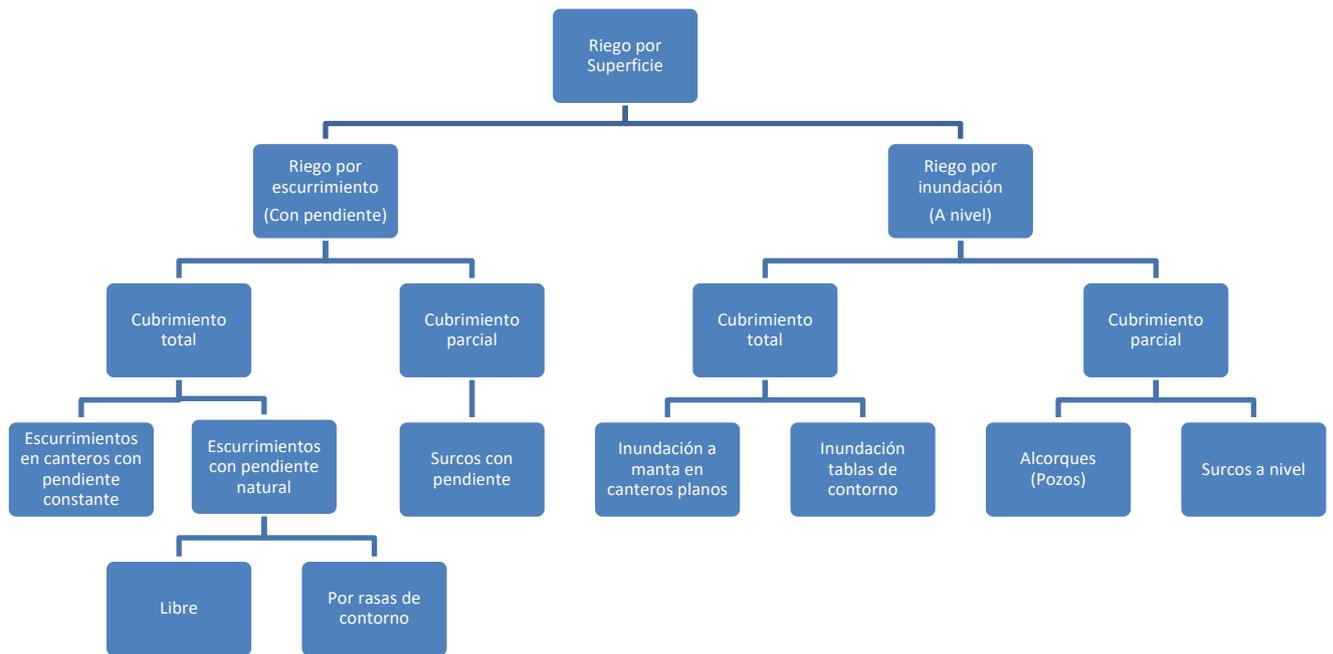


Tabla 3. Esquema Riego por Superficie

Dentro de las diferentes modalidades de riego por superficie, comentar las más empleadas en la actualidad como son:

- **Riego por surcos a nivel**, es un tipo de riego por inundación de cubrimiento parcial en el que se realizan surcos lineales entre las hileras del cultivo, permitiendo que el agua corra por estos surcos o canales dejando a su paso una lámina de agua debido a la infiltración de esta en la tierra.

Es un tipo de riego característico en la producción de la caña de azúcar.

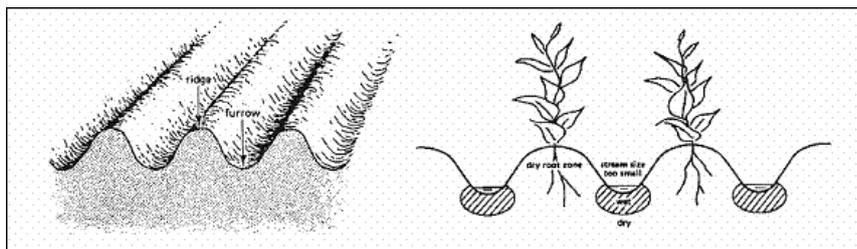


Figura 10. Riego Surcos a Nivel

- **Riego a manta en canteros planos**, es un tipo de riego por inundación de cubrimiento total en el que se divide previamente el terreno por diques formando cuadrículas que posteriormente se cubrirán con una capa de agua dejándola estancada para que se filtre por el suelo poco a poco.

Es uno de los sistemas de riego con mayores pérdidas y menos eficiencia, aunque por el contrario es uno de los menos costosos, siendo característico en cultivos como por ejemplo el arroz.

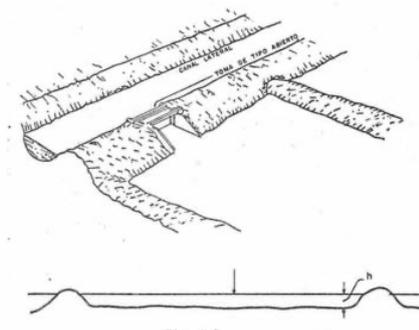


Figura 11. Riego Manta canteros planos



Figura 12. Riego libre

Riego libre, es un tipo de riego por escurrimiento de cubrimiento total, en donde al tener el terreno una cierta pendiente esta facilita el paso del agua desde la parte superior del terreno hasta la inferior. Esta técnica de riego posee la característica de tener que establecerse una infraestructura de recogida del agua para su drenaje o posterior reutilización.

3.2.2.2 RIEGO POR ASPERSIÓN

Se trata de un sistema de riego en donde el agua llega a las plantas del cultivo en forma de lluvia a través de aspersores que se encargan de pulverizar el agua en partículas pequeñas denominadas gotas.

Es un sistema bastante empleado debido a su gran adaptación a todo tipo de dosis de riego, a que no requiere nivelación y suele permitir administrar fertilizantes y productos fitosanitarios. En consecuencia, es un método que consume una gran cantidad de agua de forma ineficiente debido a que al pulverizarla parte de ella se evapora, además es un método con un alto coste de infraestructuras y mantenimientos.

Dentro de los sistemas de riego por aspersión se pueden localizar dos grandes métodos:

- Convencionales o Estacionarios: son los primeros sistemas de riego diseñados, actualmente activos que tienen la desventaja de que no poseen movimiento por el terreno.
- Auto mecanizados o de movimiento continuo: son aquellos que por la acción de un motor generalmente eléctrico o sistemas hidráulicos permiten que los aspersores estén en movimiento

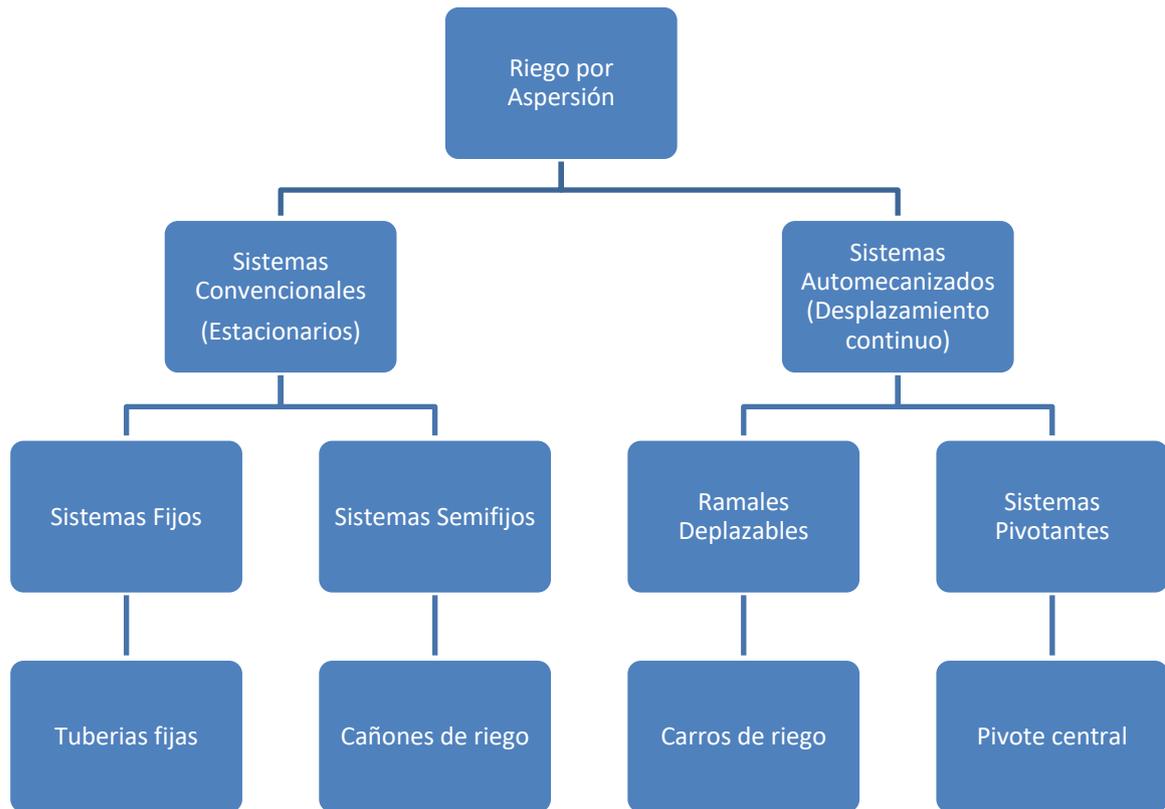


Tabla 4. Esquema Riego por Aspersión

- **Tuberías fijas:** se trata de un sistema de riego estacionario de tipología fija en donde se colocan aspersores sobre un vástago con un aspersor en su extremo unido directamente en la tubería por la que se desplaza el fluido. Esta tubería puede encontrarse totalmente enterrada o en el exterior.



Figura 13. Tuberías fijas

- **Cañones de Riego:** se trata de un sistema de riego estacionario semifijo que consiste en una gran boca con aspersores rotativos de gran tamaño conectados a una fuente de agua mediante una tubería o manguera que expulsa el agua a elevadas presiones. Poseen un gran alcance, pero por el contrario contiene grandes pérdidas. Generalmente va acoplado a unos patines o trípodes que permiten su movilidad de manera manual o motorizada.



Figura 14. Cañones de Riego



Figura 15. Carros de riego

Carros de riego: se trata de un sistema de riego de desplazamiento continuo lateral, que consiste en una barra suspendida por encima del nivel de las plantas del cultivo con una serie de boquillas que pulverizan el agua sobre las mismas. Esta barra esta acoplada a unos railes que permiten su movimiento de manera autónoma.

Es un tipo de riego muy característico en invernaderos.

- **Pivote Central:** se trata de un sistema de riego de desplazamiento circular que contiene un pivote central sobre el que una gran barra, habitualmente de acero galvanizado, con pequeños aspersores y ruedas en su extremo más alejado al pivote, va girando sobre el cultivo gracias al impulso de un motor o sistema de propulsión hidráulico, permitiendo cubrir un gran terreno en forma de circunferencia.



Figura 16. Pivote Central

3.2.2.3 RIEGO LOCALIZADO

Se trata del sistema de riego más novedoso, diseñado debido a la necesidad de aumentar la eficiencia de las aplicaciones de agua en los cultivos. Se centra en la inyección de agua solo en ciertas partes del terreno empleando pequeños caudales a bajas presiones.

Este método de riego permite ahorrar entre un 30-50% de agua respecto a sus otros dos grandes competidores, posibilitando el riego en zonas de escasez hídrica.

Por el contrario, es el método con mayores costes tanto a nivel de infraestructuras como de mantenimiento debido a las posibles erosiones y deterioros de las mismas provocando que el cultivo no sea irrigado de forma eficiente.

Dentro del sistema de riego por goteo se pueden obtener tres subcategorías importantes según el emisor empleado y su colocación:

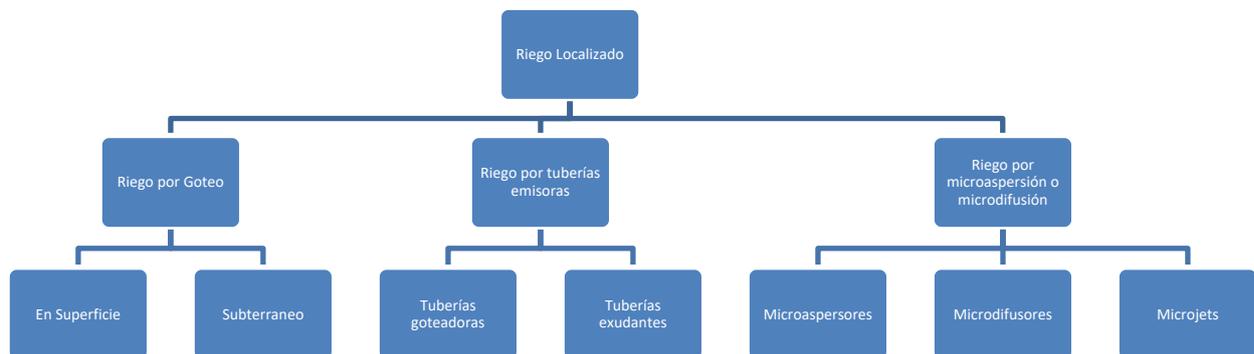


Tabla 5. Esquema Riego por Goteo

- **Riego por goteo:** se trata del sistema de riego localizado más empleado en la actualidad. El agua viaja a través de una tubería hasta los goteros donde esta baja su velocidad y presión permitiendo salir gota a gota según el caudal del propio dispositivo de goteo. Estos pueden localizarse en la superficie o bien enterrados entre 20-60cm.



Figura 17. Riego por Goteo



- **Riego por tuberías emisoras:** a diferencia del riego por goteo, este se caracteriza debido a que la tubería permanece constantemente calada, dejando así una banda de humedad en la tierra a lo largo de toda la tubería y no solo en los puntos localizados como el riego por goteo.

Figura 18. Riego tuberías emisoras

- **Riego por Micro aspersión, Micro difusión o Micro Jets:** se caracterizan debido a que el agua viaja a través de tuberías que poseen diferentes orificios de salida de tamaño ínfimo por donde el agua sale a presión y choca contra una pletina que rompe el chorro de agua generando micro partículas de esta en forma de lluvia.



Figura 19. Riego por microaspersión

4 SISTEMAS DE RIEGO

Los sistemas de riego, son un conjunto de elementos e infraestructuras que poseen la finalidad de abastecer las necesidades hídricas de los cultivos.

En la actualidad, existen multitud de configuraciones para los sistemas de riego, cada una de ellas especializada para los diferentes métodos de riego estudiados con anterioridad.

Aunque existen multitud de configuraciones, en relación a los principales elementos que conforman estos sistemas se puede observar que todas ellas siguen un patrón de estructura común:

- Embalse, pozo o laguna: cuya función será la de mantener y reservar el agua empleada para el riego.
- Cabezal de riego: parte principal del sistema de riego que se encarga de obtener el agua del embalse y tenerla dispuesta para su distribución. Dentro del denominado cabezal se engloba el equipo de bombeo, y en el caso de ser requerido el equipo de abonado.
- Red de riego: consiste en el sistema de tuberías que permite distribuir el agua y abono, en caso de ser necesario este último, por todo el terreno a irrigar.
- Emisores de riego: son los encargados de suministrar el agua a las plantas, como por ejemplo goteros, aspersores, etc.
- Elementos de control: son todos aquellos dispositivos que permiten realizar un control exhaustivo de todo el proceso de regado, desde los propios contadores en donde se registra el caudal de agua suministrada al cultivo hasta electroválvulas que facilitan la propia irrigación del cultivo haciendo autónomos los sistemas de riego.



Figura 20. Esquema Sistema de Riego

Dentro del conjunto de elementos que conforman un sistema de riego, se realizará un estudio con mayor detenimiento del considerado cerebro del sistema, las denominadas bombas hidráulicas, encargadas de sustraer el agua de embalses y pozos, y administrarla al cultivo a través del sistema de tuberías.

4.1 BOMBAS HIDRÁULICAS

Las denominadas bombas hidráulicas, son máquinas cuya disposición consiste en transformar energía en movimiento del agua, permitiendo aumentar la presión de un fluido gracias al aporte energético que obtiene de la propia energía de accionamiento.

Las bombas hidráulicas se rigen según su curva característica, en donde se presenta la relación entre la altura manométrica (caída de presión a superar por la bomba para que el fluido transite según condiciones de diseño) y el caudal, a través de la cual se permite hacer una elección eficiente de la bomba que más se adecue a las diferentes necesidades.

Como se puede observar esta relación es a su vez regida por la velocidad del rotor, a mayor velocidad de giro mayor altura manométrica y caudal.

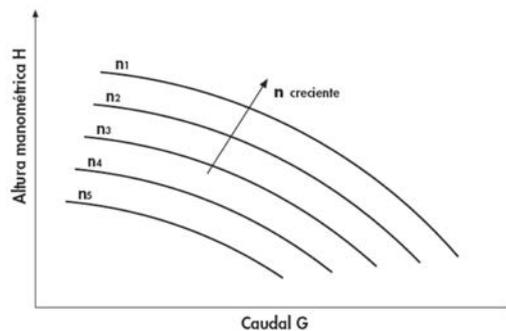


Tabla 6. Curva Característica Bomba de Riego

Estas bombas de agua pueden verse clasificadas por varios factores, siendo los principales de estos su funcionamiento y su tipo de accionamiento.

4.1.1 TIPOS DE BOMBAS SEGÚN SU FUNCIONAMIENTO

4.1.1.1 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO O VOLUMÉTRICAS

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son aquellas basadas en el principio de la hidrostática, en donde la presión del fluido se ve aumentada por el movimiento periódico de cantidades discretas del propio fluido debido a la variación de volumen.

Este tipo de bombas se podrían subdividir en:

- **Bombas de embolo alternativo:** consisten en un tipo de bombas de desplazamiento positivo que se basa en el movimiento de una pieza estanca que se emplea para impulsar el fluido.

Son un tipo de bombas cuyas características reflejan su uso con un caudal escaso y altas presiones.

Un claro ejemplo para este tipo de bomba sería la bomba de pistón, en donde mediante un sistema de válvulas se permite el llenado de la cámara de trabajo y con el desplazamiento de un pistón se ejerce presión sobre el volumen del fluido para su expulsión.

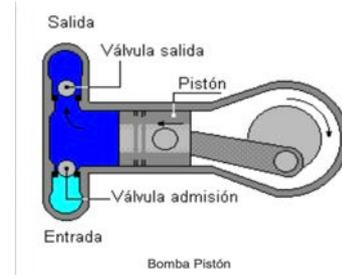


Figura 21. Bomba Pistón

- **Bombas rotativas o rotoestáticas:** consisten en un tipo de bombas volumétricas en donde mediante el movimiento de las propias cámaras de trabajo desde la zona de entrada hasta la zona de salida hace que esa energía cinética se trasvase al fluido.

Este tipo de bombas posee la gran característica de poder ser empleada con cualquier tipo de fluidos aún habiendo presencia de aire o vapor.

Como ejemplos de este tipo de bombas podrían estar:

- **Bomba de paletas,** en donde el fluido se introduce por el orificio de entrada hasta el rotor, que contiene unas palas permitiendo dividir en secciones el volumen total de la cámara principal y mediante el movimiento rotatorio de esas palas impulsar el fluido por el orificio de salida a mayor presión.

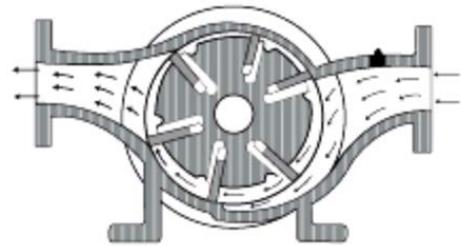
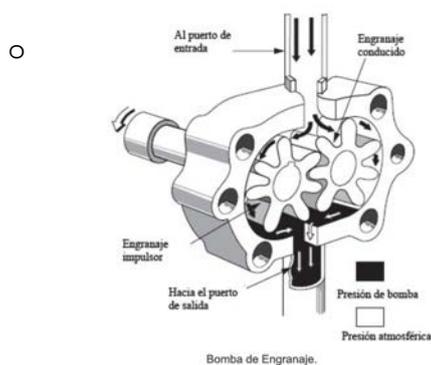


Figura 22. Bomba Paletas



Bomba de engranaje, en donde el fluido entra por el puerto de entrada y llega a la cámara de trabajo en la que se encuentran dos engranajes girando en sentidos opuestos que permiten aplicarle al fluido la energía de giro de ambos engranajes aumentando así su presión.

Figura 23. Bomba Engranaje

4.1.1.2 BOMBAS ROTODINÁMICAS

Las bombas rotodinámicas son aquellas basadas en el principio de la hidrodinámica, en donde su funcionamiento se centra en el intercambio de cantidad de movimiento entre fluido y máquina. Este tipo de bombas poseen un fluido continuo gracias a que la presión del fluido se adquiere debido a los campos de fuerzas que ejerce el movimiento de uno o varios rodetes.

Este tipo de bombas podrían ramificarse en tres subtipos según la salida del flujo en relación al eje:

- **Centrífugas:** el flujo de salida es perpendicular al eje.

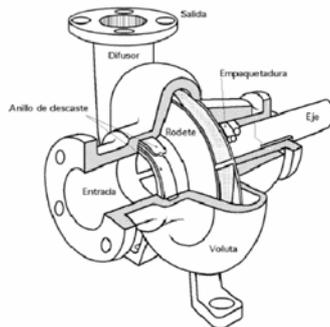


Figura 24. Bomba Centrífuga

- **Axiales:** el flujo de salida es paralelo al eje.

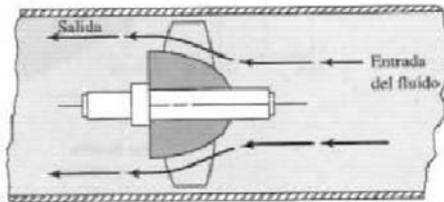


Figura 25. Bomba Axial

- **Helicocentrífugas:** el flujo es intermedio al centrífuga y axial, adquiriendo una salida diagonal al eje.

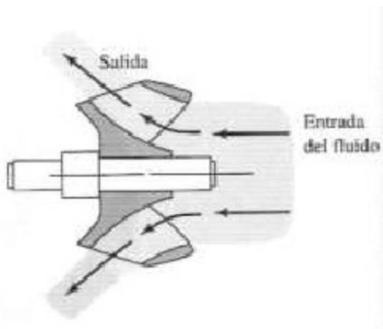


Figura 26. Bomba Helicocentrífugas

4.1.2 TIPOS DE BOMBAS SEGÚN SU ACCIONAMIENTO

4.1.2.1 BOMBAS DE ACCIONAMIENTO MANUAL

Las bombas de accionamiento manual se caracterizan por el uso de la fuerza física humana y la mecánica para el desplazamiento del fluido de un lugar a otro.

Hoy día siguen siendo empleadas, aunque en menor medida, son por lo general bombas de desplazamiento positivo y empleadas en ocasiones donde el movimiento del fluido no requiere un amplio recorrido ni un gran caudal.

Un ejemplo de este tipo de accionamientos se puede observar en las denominadas bombas de mano, las cuales mediante la energía mecánica que se aplica con el movimiento de una palanca, se logra el accionamiento de un pistón que se encuentra en el interior de un cilindro y este crea una succión del fluido permitiendo su extracción.

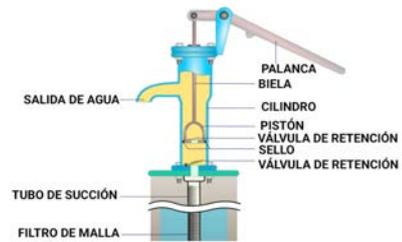


Figura 27. Bomba de Mano

4.1.2.2 BOMBAS DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO

Las bombas de accionamiento hidráulico se caracterizan porque el aporte de energía al fluido se realiza mediante el movimiento de este u otros fluidos como puede ser el aceite, permitiendo un trasvaso de energía entre fluidos.

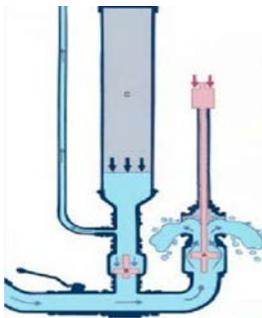


Figura 28. Bomba de Ariete

Un ejemplo de este tipo de accionamiento se podría encontrar en las denominadas bombas de ariete, que, mediante un golpe de ariete sobre nuestro fluido o un fluido intermedio, este adquiere mediante su paso a través de un cilindro una velocidad considerable que permite empujar al otro fluido desplazándolo hacia donde se quiere dirigir.

4.1.2.3 BOMBAS NEUMÁTICAS

Las bombas neumáticas son un tipo de bombas que pertenecen al sector funcional de desplazamiento positivo, en concreto alternativo, en donde se emplea la presión del propio aire o cualquier gas para el movimiento del fluido.

Un ejemplo de este tipo de bombas sería la bomba de doble membrana, la cual mediante la fuerza del aire a presión se permite el movimiento de unas membranas flexibles que crean diferenciales de volumen dentro de la cámara de trabajo aumentando su volumen en la fase de aspiración y disminuyéndolo en la fase de expulsión del mismo, provocando una mayor presión de este a la salida.

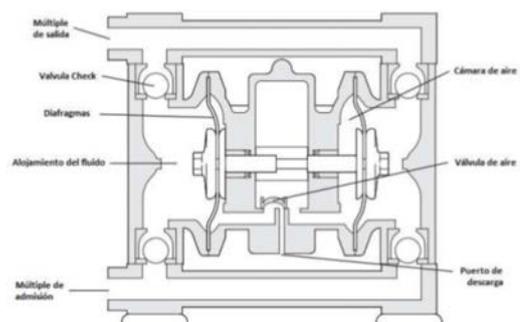


Figura 29. Bomba doble Membrana

4.1.2.4 ELECTROBOMBAS

Las electrobombas son un tipo de bombas hidráulicas caracterizadas por la acción de un motor eléctrico como fuente de energía. Transforman la energía eléctrica aportada por el motor en energía del fluido.



Por ejemplo, una bomba centrífuga en donde la energía al fluido es aportada por el giro del rodete, que este a su vez es impulsado por un motor eléctrico.

Figura 30. Bomba eléctrica centrífuga

4.1.2.5 MOTOBOMBAS

Las motobombas son un tipo de bombas hidráulicas cuyo accionamiento proviene de un motor de combustión interna.

Por ejemplo, una bomba centrífuga como en el caso de las electrobombas pero que en esta ocasión el movimiento del rodete es accionado mediante un motor de combustión interna ya sea de gasolina o diésel.

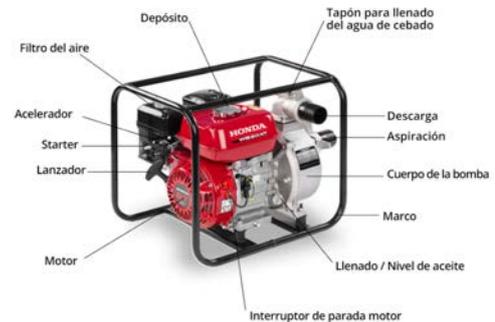


Figura 31. Motobomba centrífuga

5 DATOS PRINCIPALES DE PARTIDA

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA Y NECESIDADES HÍDRICAS

5.1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PARCELA

No se conocen los datos concretos de la parcela, pero según la información aportada por algunas fuentes como por ejemplo el propio tutor del proyecto se conocen los siguientes datos:

- La parcela contiene 4Ha, en donde esta sufre un desnivel a lo largo del terreno quedando dividida en dos sectores.
- El riego se realiza por sectores en concreto los dos en los que esta dividida la parcela de 2Ha cada uno, en donde uno de ellos se encuentra situado a un desnivel de 15m por debajo de la bomba hidráulica.
- La finca no posee electricidad

5.1.2 DATOS DE LA Balsa DE RIEGO

La balsa de donde se obtiene el agua para el riego de la parcela es un embalse de grandes dimensiones situado en la provincia de Sevilla denominado “Embalse José Torán”.

- Cuenca hidrográfica: Guadalquivir
- Nombre del complejo: José Torán
- Superficie de la cubeta: 643 Ha
- Capacidad total: 113 Hm³
- Altura respecto nivel del mar: 175m

5.1.3 NECESIDADES HÍDRICAS

- Tipo de cultivo: Árboles frutales, en concreto plantación de almendros.
- Caudal necesario: 5000 m³/Ha al año

5.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE RIEGO

Debido a que la finca no contiene electricidad el motor de la bomba hidráulica es un motor de combustión que tiene por combustible gasolina.

En concreto se trata de una motobomba de gasolina Honda WB30XT con las siguientes características:



Figura 32. Motobomba Honda

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

WB30XT

Motor	
Tipo de Motor	GX160 - OHV 4 Tiempos - Refrigerado por aire
Cilindrada	163 cm ³
Potencia Neta	4.8 HP (3.6 KW) a 3600 RPM
Encendido	Transistorizado
Arranque	Manual
Bombas de Agua	
Tipo de Bomba	Centrífuga Auto Cebante
Tiempo de Cebado	110 Seg. a 5 Mts.
Caudal de Descarga	1100 Lts./Min.
Altura Máxima de Bombeo	23 M.
Altura Máxima de Succión	7.9 M.
Presión Máxima	2.55 Bar
Otras Especificaciones	
Capacidad de Combustible	3.1 Lts.
Consumo Específico de Combustible	1.4 Lts./Hs. a 3600 RPM
Capacidad de Aceite	0.6 Lts.
Alerta de Aceite	Si

Tabla 7. Características Técnica Motobomba

Por otro lado, todas las tuberías que posee el sistema de riego tienen el mismo diámetro de 80mm o lo que es lo mismo 3 pulgadas, y los goteros empleados son de tipología autocompensantes con un caudal de 8L/h que trabajan a un rango de presión entre los 5 y 40 mca.



Tabla 8. Tabla de Descarga Goteros

Por lo que el sistema completo a optimizar contiene el siguiente esquema:

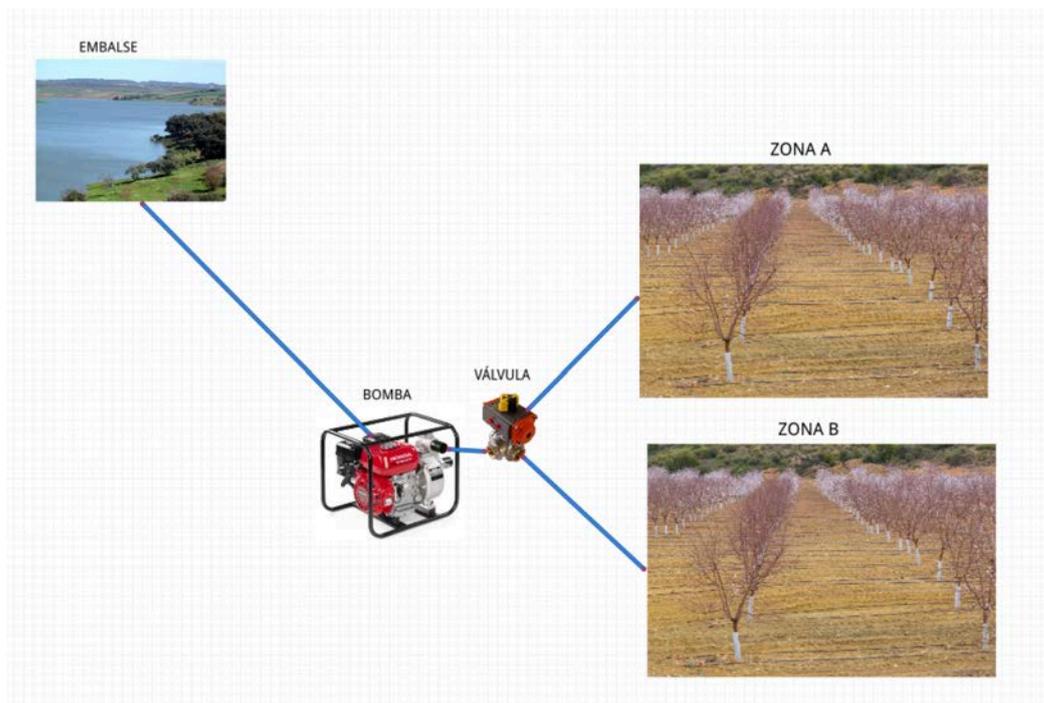


Figura 33. Esquema Sistema Riego

6 DISPOSITIVO DE OPTIMIZACIÓN DE CONSUMO

El objetivo principal de este proyecto consiste en el diseño y construcción de un dispositivo electrónico autosuficiente, que permita la optimización del consumo energético de una bomba hidráulica.

Para poder llevarse a cabo ese ahorro energético, el dispositivo se centrará en la medición de la presión hidráulica en el orificio de entrada de la bomba de agua, con el fin de poderse evaluar según un umbral de presión mínima fijado por el tipo de cultivo, topografía del terreno y los elementos del sistema de riego, si dicha presión obtenida en la bomba es suficiente para poder abastecer esas necesidades hídricas en alguno de los sectores del cultivo evitando así la puesta en marcha de la bomba.

En este caso, al no disponer del elemento fundamental para las mediciones de presiones como lo es la bomba hidráulica, se diseña y elabora un dispositivo secundario capaz de obtener una simulación del dispositivo real, en donde mediante un generador de señales se establecerá la tensión de salida del sensor de presión que se establecería en el dispositivo real.

6.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

A continuación, se comentarán los elementos necesarios para poder elaborar el dispositivo optimizador de consumo en motobombas hidráulicas.

- **MICROCONTROLADOR**, circuito electrónico que permite programar la lógica de decisiones que se precisa en el dispositivo.

En este sentido, actualmente existen multitud de elementos programables en el mercado, de los cuales solo se mencionarán alguno de ellos.

<i>Modelo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Microcontrolador</i>	<i>Memoria SRAM</i>	<i>Memoria EEPROM</i>	<i>memoria FLASH</i>
<i>Arduino Uno Rev3</i>	16 MHz	ATmega328P	2 KB	1 KB	32 KB
<i>Arduino Mega 2560 R3</i>	16 Mhz	ATmega2560	8 KB	4 KB	256 KB
<i>Adafruit Feather M0 Bluefruit LE</i>	48 MHz	ATSAMD21G18	32 KB	No	256 KB

Tabla 9. Comparativa Módulos con Microcontroladores

Debido al breve número de conexiones requeridas, la baja necesidad de memoria y su alta compatibilidad con otros módulos y sensores, en esta ocasión se ha seleccionado como opción más eficiente el módulo Arduino Uno Rev3.

o *Arduino UNO Rev3:*

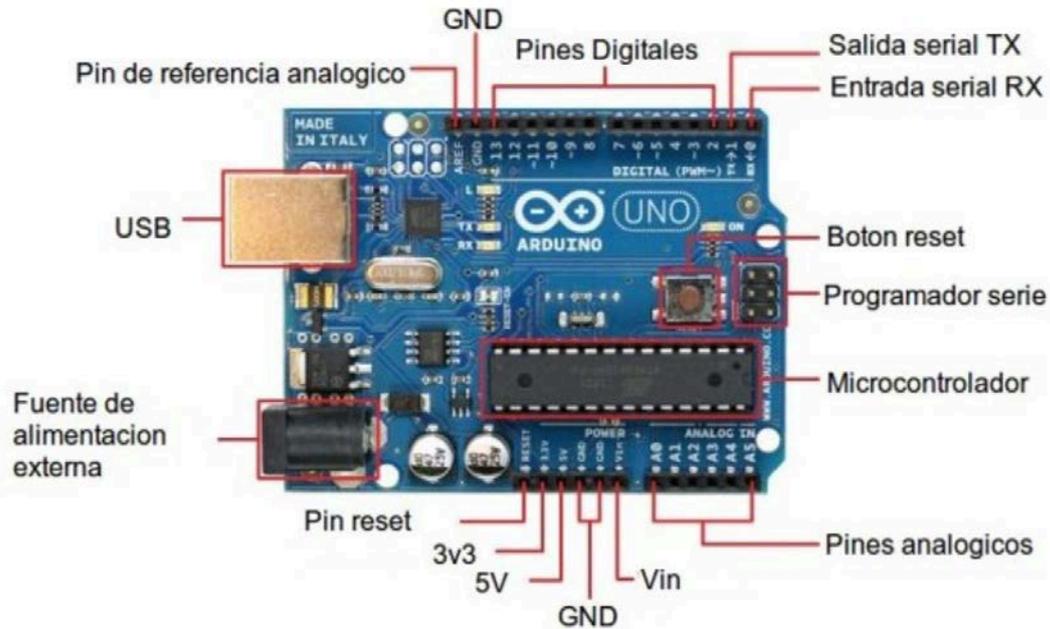


Figura 34. Esquema Arduino UNO Rev3

Especificaciones Técnicas:

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Tabla 10. Especificaciones Técnicas Arduino UNO Rev3

- **MÓDULO GSM/GPRS**, dispositivo electrónico que permite el establecimiento de conexión y envío de datos hacia el exterior con un modelo de conexión cliente-servidor.

En este caso, existen diferentes módems de los cuales se tratarán los más comunes:

Módem	Voltaje Trabajo (V)	Frecuencias Trabajo (MHz)	Velocidad Transmisión (Bps)	Otros
<i>SIM800A</i>	3.4 /4.4	850/900/1800/1900	1200 - 115200	Tecnología 2G
<i>SIM900</i>	9/20	850/900/1800/1900	1200 - 115200	Pila embebida TCP/UDP con carga de datos a Servidores WEB
<i>A6</i>	4.8/9	850/900/1800/1900	1200 - 115200	Comandos AT y TCP/IP Corriente suspensión 5mA

Tabla 11. Comparativa Módems GSM/GPRS

Como se puede observar las características en estos módulos son muy parejas, por lo que teniendo en cuenta el tamaño compacto, el bajo consumo y la alta compatibilidad con el módulo Arduino UNO, se ha elegido como Módulo GSM/GPRS el módem A6, que presenta una gran estabilidad, bajo consumo y alto rendimiento en cuanto a transmisión de paquetes de datos se refiere.

○ *Módulo GSM/GPRS Chip A6:*

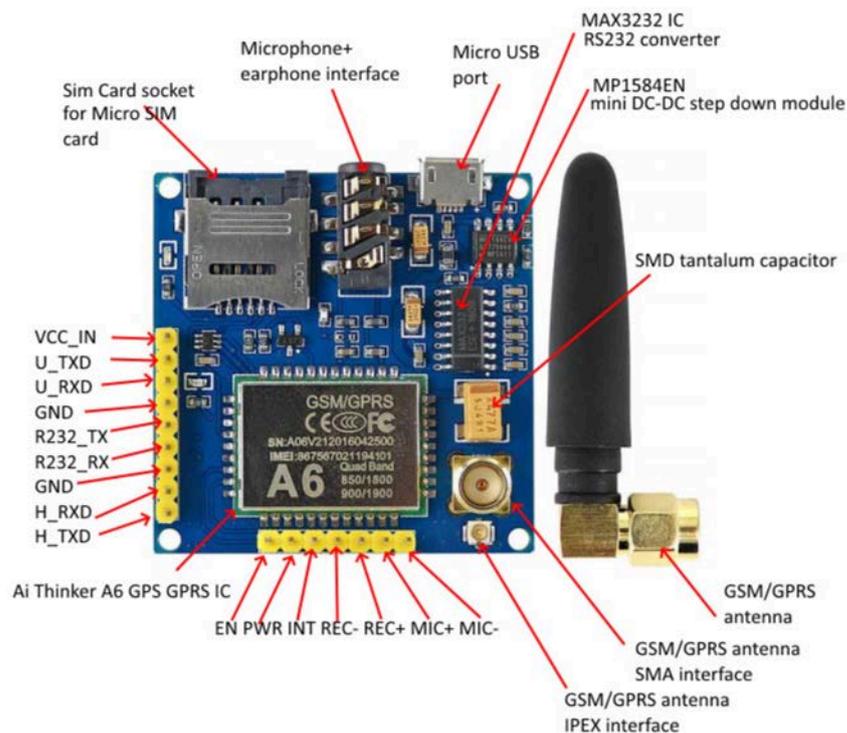


Figura 35. Módulo GPRS A6

Especificaciones Técnicas:

- Frecuencia de trabajo: red de cuatro bandas, 850/900/1800 / 1900MHz
- Voltaje de funcionamiento: 4.8-9VDC (Potencia de suministro del circuito regulador de a bordo para el módulo A6)
- Corriente de trabajo: máximo de 2A
- Intensidad del sueño: 5mA
- Soporte de la tarjeta Micro SIM a bordo, puede instalar la tarjeta Micro SIM
- Interfaz micro USB integrada para fuente de alimentación externa
- Interfaz de comunicación: puerto serie TTL / puerto serie RS232
- Velocidad en baudios: 115200 bps y también se puede configurar mediante el comando AT
- Tensión lógica de interfaz: 3.3V
- Realiza y contesta llamadas telefónicas usando auriculares y micrófono electret
- Enviar y recibir mensajes SMS
- Enviar y recibir datos GPRS (TCP / IP, HTTP, etc.)
- Paso de alfiler: 2.54 mm
- Interfaz de antena integrada: SMA e IPX
- Antena:
 - Adecuado para módulos SIM800L GSM / Arduino SIM900 GPRS Shield
 - Frecuencia: 780MHz ~ 960MHz, 1710MHz ~ 2170MHz
 - Ganancia de antena: $+2.0 \pm 0.7$ dBi a 880 MHz, $+2.0 \pm 0.7$ dBi a 1800 MHz
 - S.W.R ≤ 2.0 @ 2100 MHz ~ 2500 MHz
 - Impedancia de salida: 50 Ohm
 - Interfaz de antena: SMA

Dicho módulo GPRS requiere de una tarjeta SIM, de la que adquirir los datos de red para el envío de información.

En este caso se ha escogido una tarjeta SIM de la compañía Movistar que contiene 1Gb de datos móviles, ya que los envíos que se van a realizar entre el módulo Arduino y el servidor donde se almacenará la información no requiere de gran capacidad de datos.

- **GENERADOR DE SEÑAL 4-20mA 0-10V**, elemento electrónico que permite tener a su salida señales de 4-20mA o 0-10V. Con dicho módulo se simula la salida del sensor de presión que se tendría en el caso de que se tuviese acceso a la bomba hidráulica para realizar las mediciones.

En este caso se ha empleado un generador 0-10V con una alimentación de 12-24V y con 4 canales de salida (2 corriente, 2 tensión), junto con una placa LCD RG1602A que permite obtener con exactitud los valores de las señales generadas para cada canal.

Ambos elementos vienen diseñados para acoplarse el uno con el otro en la placa del generador de señales.

- **Generador Señales 4-20mA/0-10V con Pantalla LCD RG1602A:**



Figura 36. Generador 4-40mA/0-10V

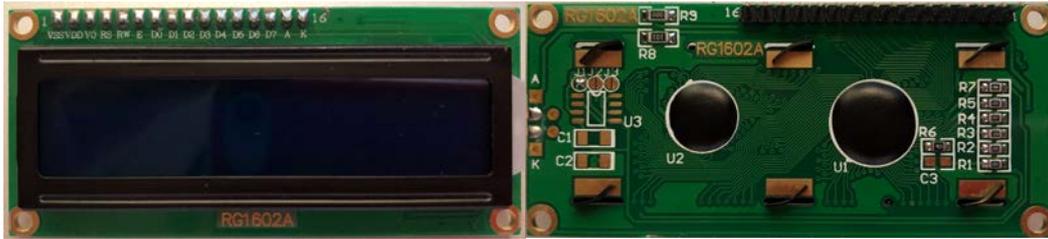


Figura 37. Pantalla LCD RG1602A



Figura 38. Acople ambos dispositivos

Especificaciones Técnicas:

- Fuente de Alimentación: 12 - 24V
- Pantalla LCD de retroiluminación RG1602A
- 4 canales de salida:
 - o 2 de corriente (I1, I2) 0 - 20mA
 - o 2 de tensión (V1, V2) 0 - 10V

Para el caso real en el que es posible el acceso al terreno y a la bomba hidráulica, se plantea el uso de sensores como son:

- o Sensor de Presión: que se colocaría en la entrada de la bomba hidráulica permitiendo conocer con exactitud la presión de entrada que se obtendría en cada momento.

Por ejemplo: G1/4" Sensor Transductor de Presión 5V, con una salida analógica de 0,5-4,5V permitiendo medir presiones de 0 a 10 Bares.



- o Sensor de humedad del suelo: Colocados a lo largo del terreno en los diferentes sectores en donde una vez conocidas las necesidades hídricas del cultivo se puede evaluar si se requiere del riego de dicho sector.



Por ejemplo: Sensores YL-69 junto con módulos adaptadores para Arduino HC-38.

- **FUENTE DE ALIMENTACIÓN**, dispositivo que permite suministrar corriente a todos los elementos del sistema diseñado.

En este caso, como se pretende realizar una simulación y no un desarrollo del dispositivo real en donde no habría corriente eléctrica se ha optado por emplear una fuente de alimentación de un PC modelo 460W, con una tensión de entrada de 220~240V y que proporciona tres canales de tensión: uno a 3.3V(Naranja), otro a 5V(Rojo) y otro a 12V(Amarillo).



Figura 39. Fuente Alimentación

Para el caso real en el que no se puede emplear la electricidad como fuente de energía para la alimentación de los elementos electrónicos, se plantea el uso del Sol como fuente de energía.

Para ello se requeriría de los siguientes elementos:

- Placa Solar: permite captar la energía de la radiación solar para su aprovechamiento.
- Acumulador eléctrico (Batería): permite acumular la energía captada de la radiación solar para su utilización durante las horas que no haya luz.

Como posible opción para este elemento del sistema, se plantea las baterías de LIPO (Litio y Polímero), las cuales prestan un gran rendimiento, gracias a su alta facultad de acumulación de energía, sus pequeñas dimensiones y alta capacidad de descarga

- Cargador de baterías: permite obtener la energía generada por la placa solar y derivar parte de ella hacia la batería para acumularla, mientras que por otro lado permite suministrar directamente parte de esa energía manteniendo una tensión estable de salida.

Por ejemplo: Lipo Rider Pro.

- **SERVIDOR**, lugar de almacenamiento de la información suministrada por el microcontrolador a través del módulo GPRS.

En este caso se ha optado por la plataforma Thingsboard que proporciona servidores de manera ágil y gratuita, debido a que ha sido previamente proporcionado por el tutor.

ThingsBoard es una plataforma IoT de código abierto en la que se permite almacenar, visualizar y analizar datos de dispositivos externos.

URL de enlace: <https://thingsboard.io>



6.2 CONEXIONES Y CONFIGURACIONES

Posterior a la definición de los elementos necesarios para el desarrollo del dispositivo optimizador de bombas de riego de combustión, se tratan las configuraciones y conexiones establecidas en estos mismos para su correcto funcionamiento.

Respecto a las conexiones físicas a establecer entre los diferentes elementos que conforman el dispositivo optimizador:

1. **Fuente de alimentación:** conectar la fuente a la corriente 240V, por ejemplo, un enchufe común de una casa. Una vez conectado a la corriente, para arrancar la fuente de alimentación del PC simulando un generador de tensión, se debe conectar el cable verde con la tierra (negro), simulando el accionamiento del botón de encendido del ordenador.

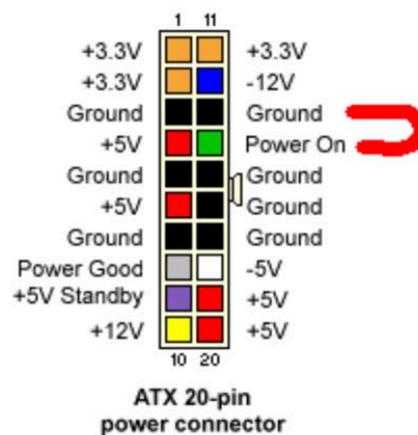


Figura 40. Conexión de encendido fuente alimentación

Tras esta primera conexión la fuente de alimentación arrancará y se podrá obtener los tres canales de tensión anteriormente comentados:

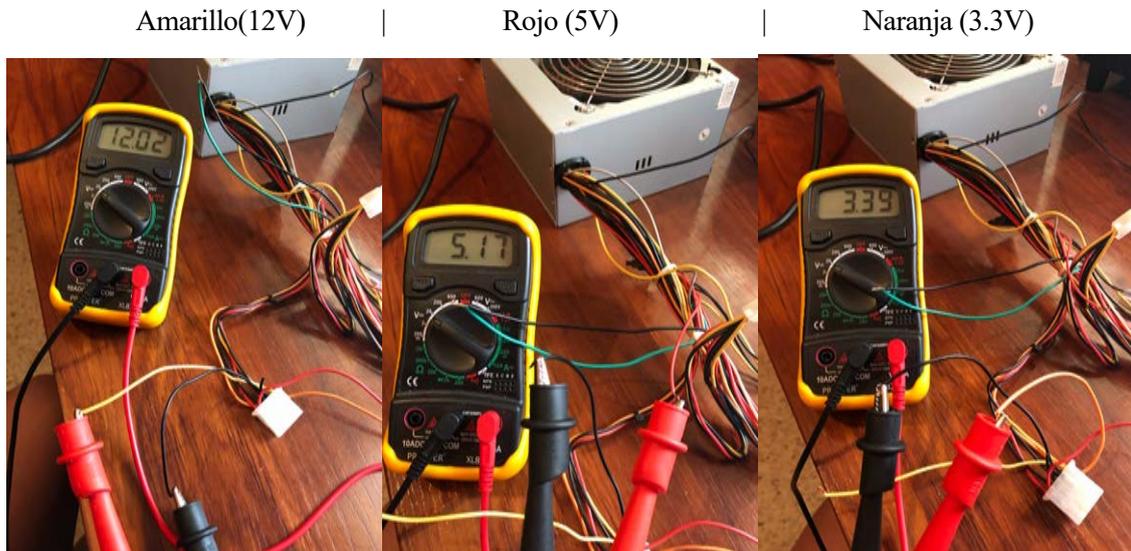


Figura 41. Canales de Tensión aportados por la fuente de alimentación.

2. **Generador de Señales:** Conectar una de las salidas de 12V de la fuente de alimentación a la entrada del generador de señales 4-20mA/0-10V.

Una vez alimentado el generador de señales se escogerá el canal 3 o también denominado V1 del generador, el cual permite obtener una salida regulada de 0-10V, y se conectará a uno de los pines analógicos del módulo Arduino, en concreto en este caso concreto al pin A0, junto con la salida GND al pin GND del Arduino cerrando el circuito.

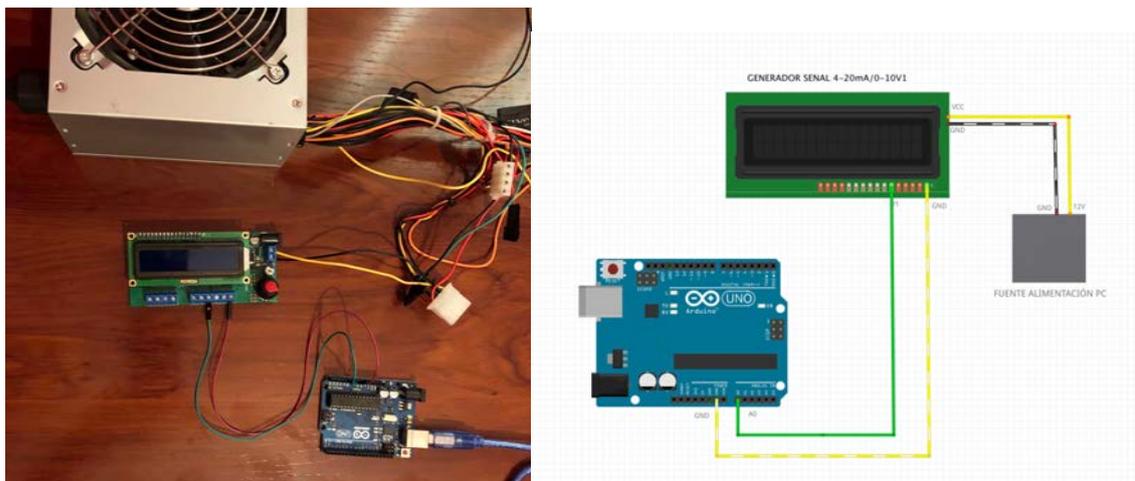


Figura 42. Conexiones Generador de Señales

Con estas dos conexiones se tendrá conectado al módulo Arduino la simulación del sensor de presión que se tendría en el orificio de entrada de la bomba hidráulica en el caso real.

Por otro lado, se deberá conectar al módulo Arduino UNO el módulo GPRS para la transmisión de los datos obtenidos través del generador de señales hacia el servidor de Thingsboard.

3. **Módem GSM/GPRS:** Dicho elemento se alimentará directamente del Arduino conectando la salida de 5V del módulo Arduino a la entrada Vinn del propio Módem.

Para el envío y recepción de datos conectar los pines Tx y Rx del módem a los pines digitales 7 y 8, los cuales mediante codificación en el microcontrolador se programarán como pines de Transmisión y Recepción.

En ocasiones la tensión suministrada por el Arduino en el pin 5V, no es suficiente para mantener una señal estable en el Módulo GPRS por lo que se tendrá que conectar a una fuente de alimentación 5V externa como por ejemplo un cargador de tablets.

Por lo que a nivel de pines se tendrá las siguientes conexiones:

- a. V_Tx (Módulo GPRS) conectado al pin 7(Tx_Arduino) del Arduino.
- b. V_Rx (Módulo GPRS) conectado al pin 8(RX_Arduino) del Arduino.
- c. GND (Módulo GPRS) conectado al pin GND del Arduino.
- d. VCC_In (Módulo GPRS) conectado al pin 5V del Arduino, o en caso de necesitar una tensión mayor conectado a una fuente externa 5V.

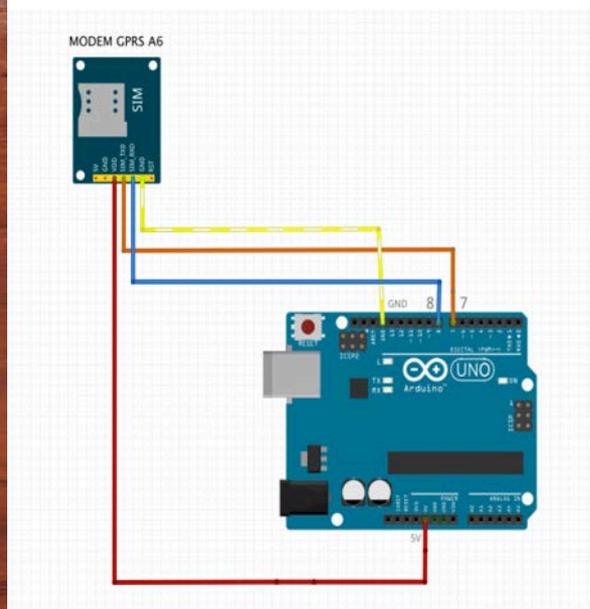
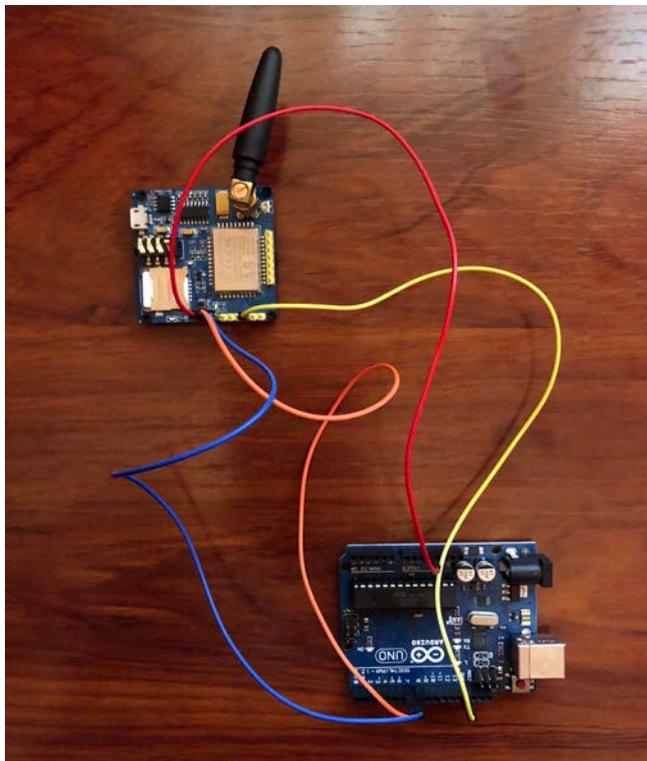


Figura 43. Conexiones Módulo GPRS

Por último, respecto a las conexiones a realizar entre los distintos elementos, se debe alimentar el cerebro del dispositivo, el microcontrolador.

4. **Módulo Arduino UNO Rev3:** este elemento debe ir conectado a una fuente de alimentación que le proporcione al menos 5V de tensión de entrada para su correcto funcionamiento.

En este caso, como se trata de una simulación se empleará el propio ordenador como fuente de alimentación, conectándose ambos a través de un cable USB de tipo A a tipo B.



Figura 44. Conexión Módulo Arduino - Ordenador

Una vez establecidas todas las conexiones físicas requeridas entre los distintos elementos electrónicos, el sistema de conexiones del dispositivo simulador sería el siguiente:

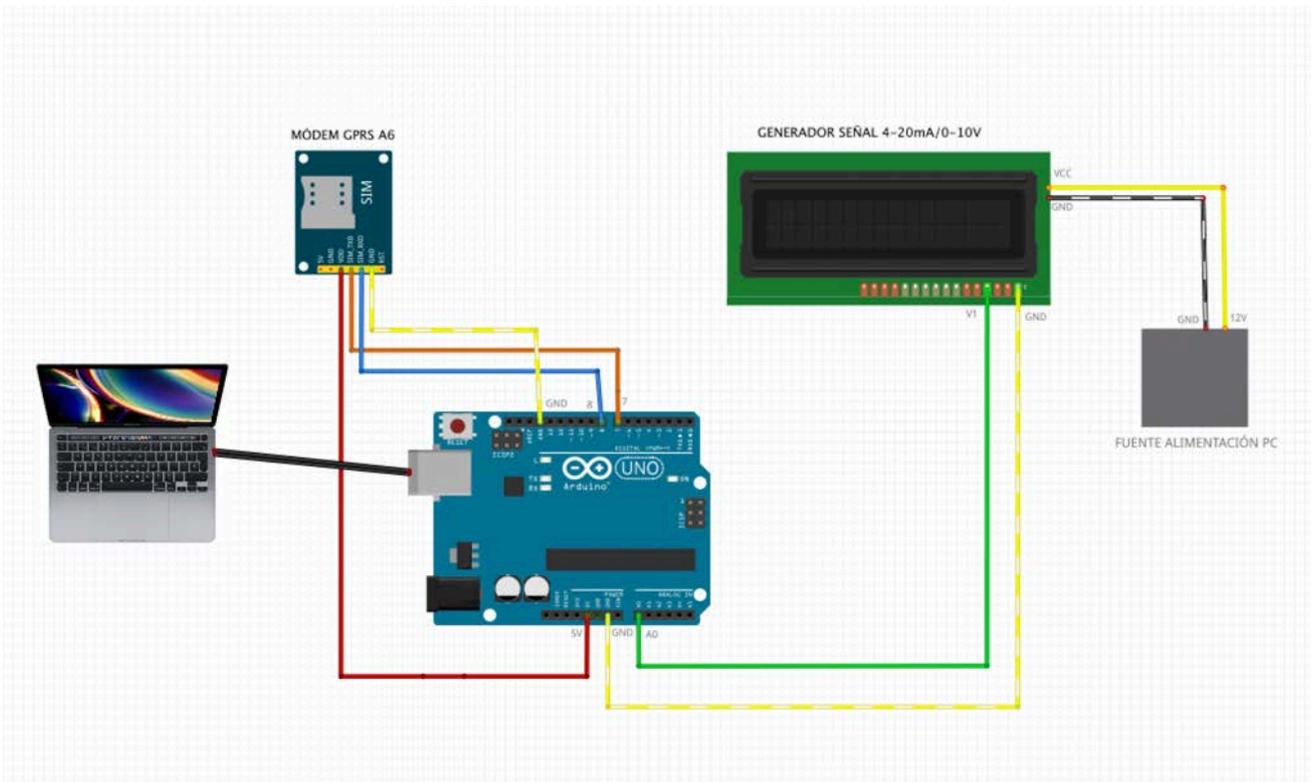


Figura 45. Esquema Sistema completo Dispositivo simulador

Por otro lado, se pasará a enumerar las configuraciones necesarias para la puesta en marcha y correcto funcionamiento del dispositivo tras haber realizado sus conexiones físicas.

1. Tarjeta SIM activa y con datos móviles, necesaria para poder obtener una conexión entre el módulo GPRS y el exterior, en este caso el servidor de la plataforma Thingsboard.
2. Creación de una cuenta en la plataforma Thingsboard, que a su vez permite obtener un servidor donde almacenar y analizar la información obtenida a través del microcontrolador.

Para ello, primero se tendrá que acceder a la página oficial de Thingsboard “<https://thingsboard.io/installations/>” y se creará una cuenta de acceso.

Existen dos tipos de cuentas:

- *Community*, en donde la propia plataforma proporciona un servidor virtual de manera rápida y gratuita, pero con ciertas limitaciones funcionales.

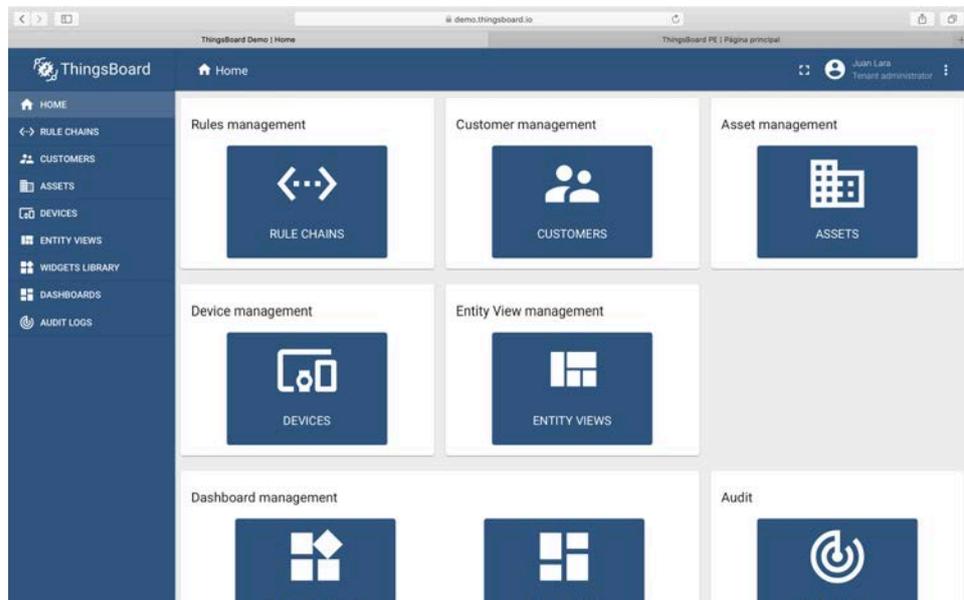


Figura 46. Thingsboard Community

- *Professional*, en donde se permite la creación de un servidor propio con un host único y sin limitaciones funcionales.

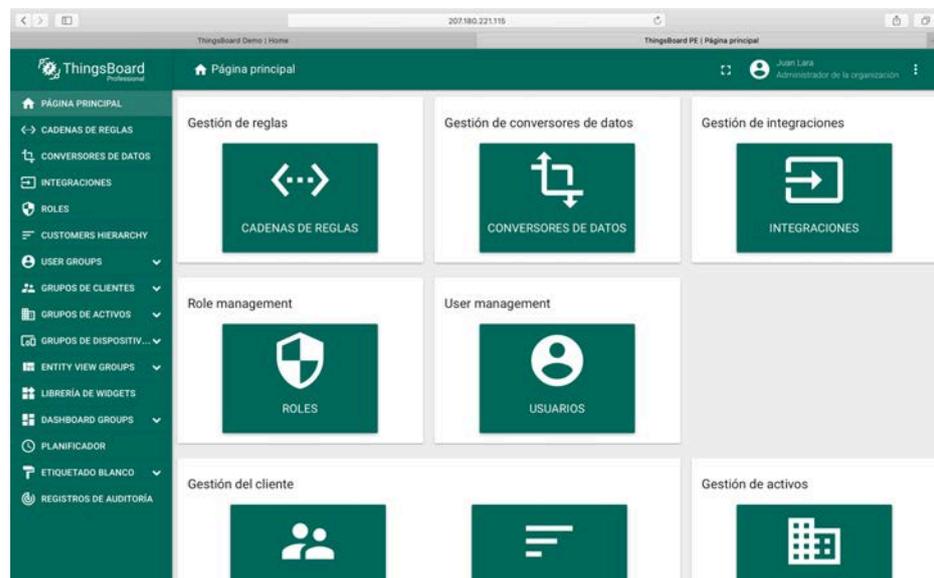


Figura 47. Thingsboard Professional

En este caso, se ha proporcionado una cuenta Profesional por parte del tutor con ip y puerto de acceso: “207.180.221.115:8080”

Tras acceder a la cuenta, lo primero que se debe realizar es registrar el dispositivo microcontrolador Arduino Uno con el que se establecerá conexión.

- Grupo de Dispositivos → ALL → Agregar Dispositivo (+):

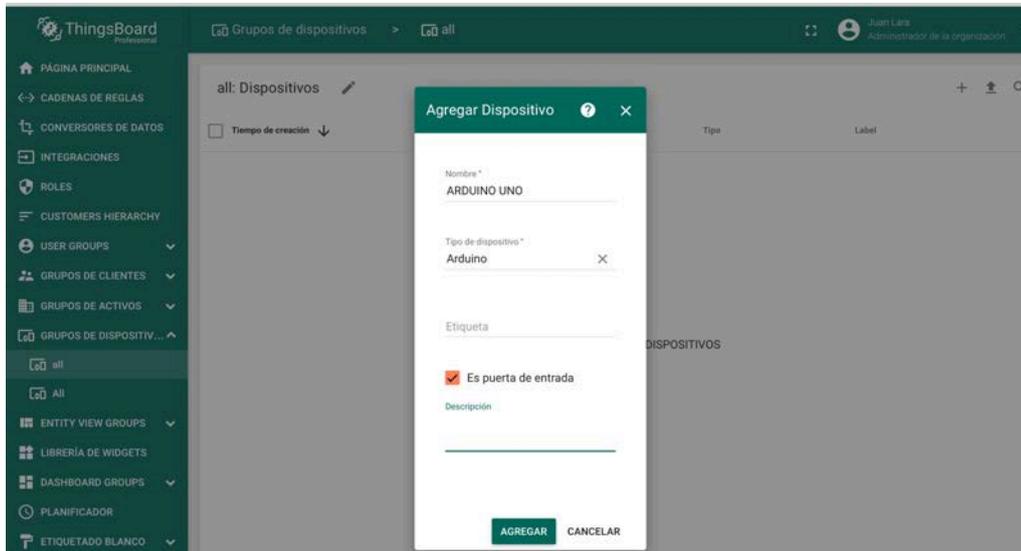


Figura 48. Agregar Dispositivo Arduino UNO a Thingsboard

Una vez agregado el dispositivo microcontrolador, se tendrá que crear un panel para poder visualizar gráficamente los datos obtenidos por el módulo Arduino.

- Dashboard Groups → All → Agregar Paneles (+)

estableciéndole un Título al Panel, por ejemplo, TFG Dashboard.

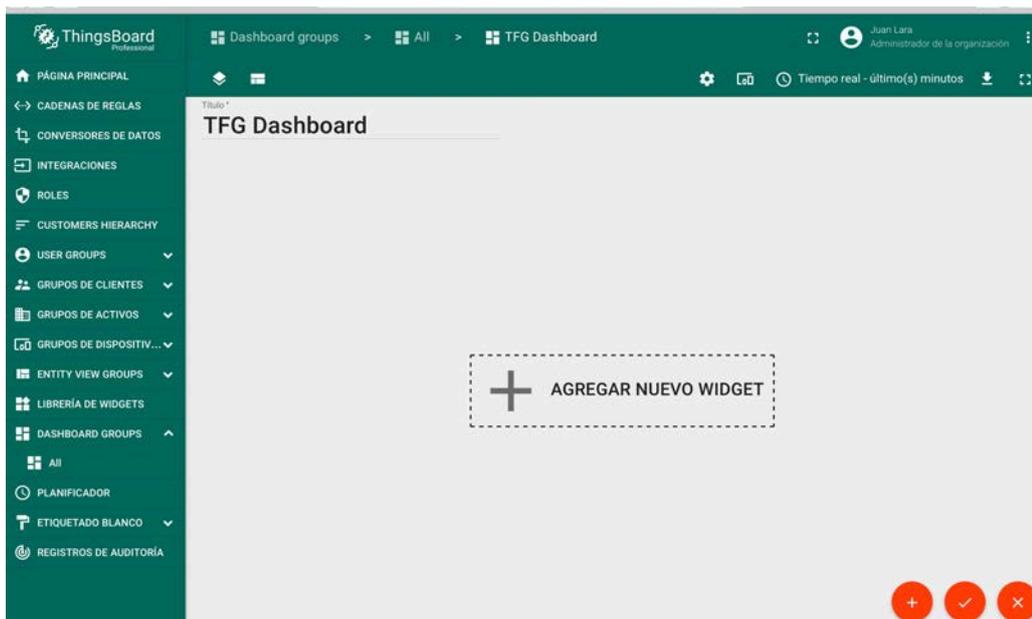


Figura 49. Creación Dashboard en Thingsboard

En dicho panel, lo primero que se deberá realizar es la asignación del dispositivo microcontrolador anteriormente configurado, con el fin de relacionar los datos que se obtengan en este con los mostrados en el panel a través de los Widgets.

- “Alias de las entidades” → “Agregar Alias”, y se seleccionará el dispositivo.

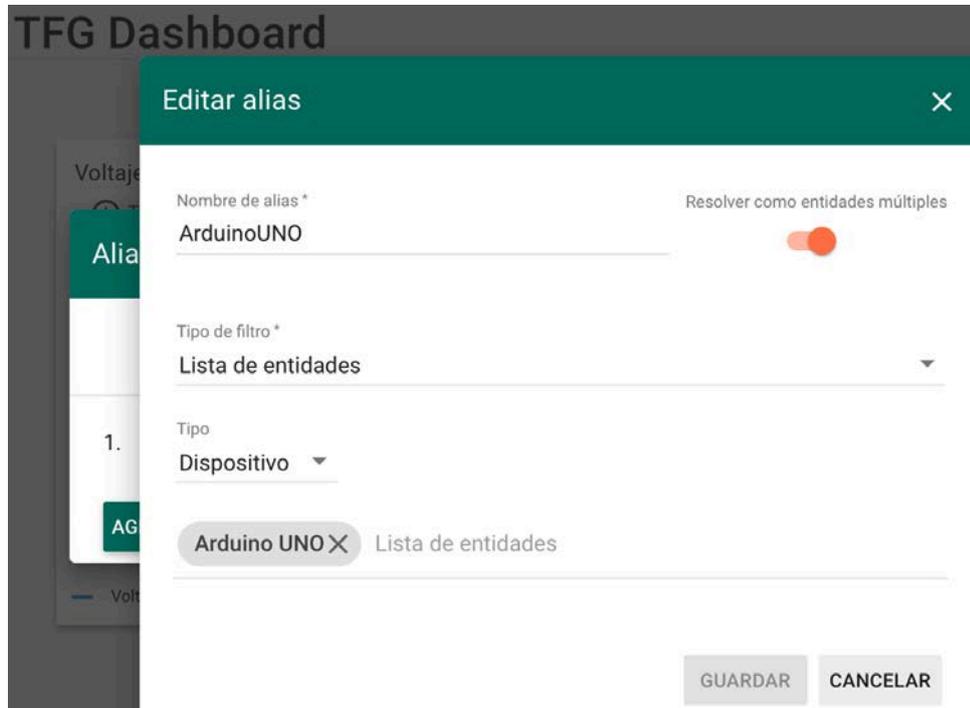


Figura 50. Asignación Dispositivo al Dashboard en Thingsboard

Tras agregar el dispositivo principal en el panel, se añadirán los widgets necesarios para el análisis gráfico de los datos.

En concreto se emplearán los siguientes widgets:

- Charts → Timeseries - Flot: permitirá mostrar los datos de tensión que llegan al módulo Arduino a través del generador de señales simulando el sensor de presión en una gráfica.

Se le asignará el alias del dispositivo creado dentro del panel “ArduinoUNO” junto con el nombre de la variable que se empleará para transmitir los datos desde el microcontrolador, en este caso “voltaje”.

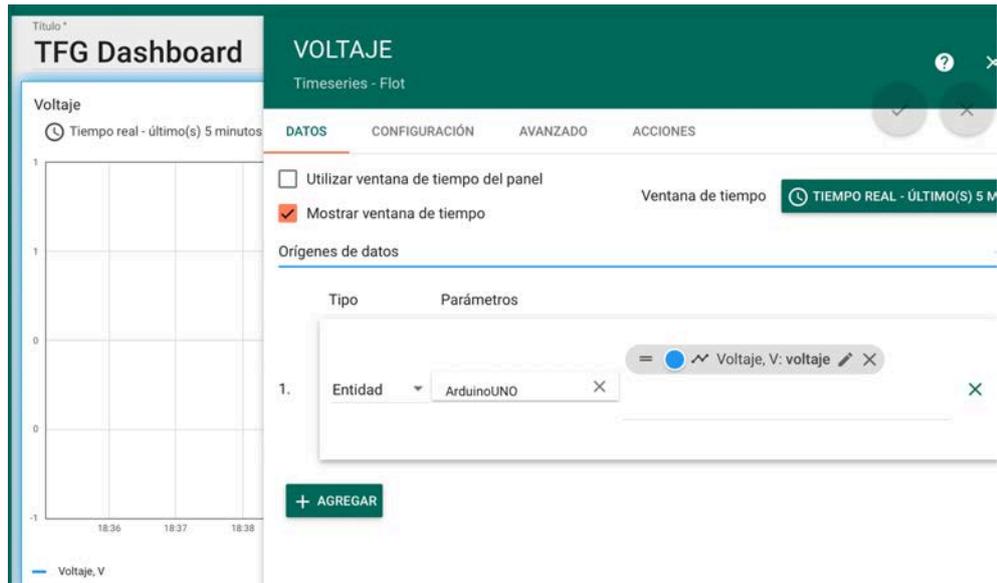


Figura 51. Asignación parámetros widget “Voltaje”

- Alarm widgets: panel de alarma que permitirá observar de manera visual si la tensión administrada por el generador de señales es superior al umbral mínimo de tensión establecido que permitiría el riego en el sector más bajo de la finca sin la necesidad del uso de la bomba hidráulica.

Se le asignará el alias del dispositivo creado dentro del panel “ArduinoUNO” para relacionar la alarma con el dispositivo desde el cual se enviarán los datos:



Figura 52. Widget Indicador de Alarma Thingsboard

Tras la asignación del dispositivo al widget, en el apartado “AVANZADO”, se tendrá que realizar la asignación del campo que se procesará en dicha alarma, en donde se le asignará como se ha mencionado anteriormente el timeseries “voltaje”.

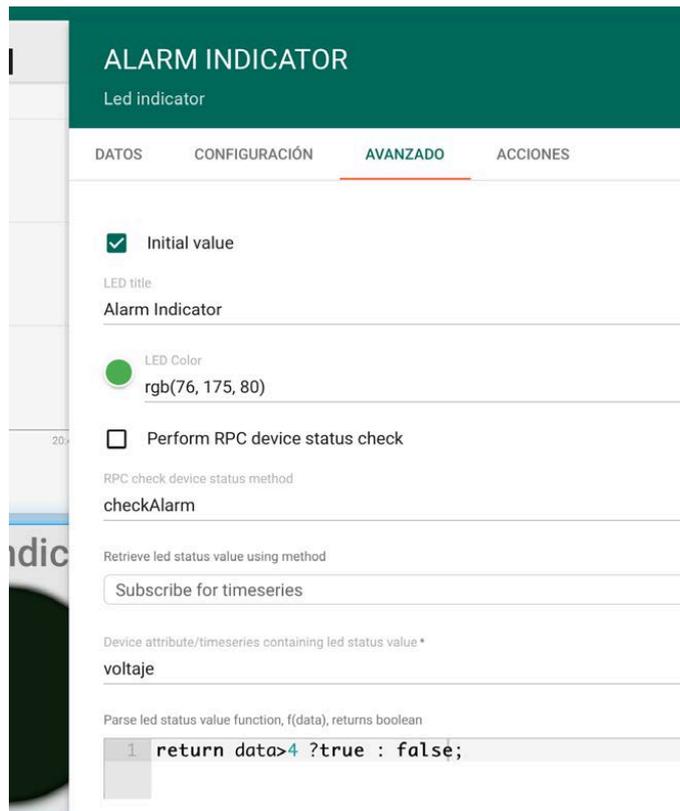


Figura 53. Configuración Alarma Visual en Thingsboard

Como se puede apreciar en la configuración de la alarma, se deberá fijar el umbral mínimo de tensión para poder alertar al usuario de que la presión a la entrada de la bomba es idónea para poder abastecer las necesidades hídricas del sector del terreno.

En el caso de que la tensión fuese mayor a estos 4V (Umbral mínimo fijado) la alarma se pondría de color Verde, indicando visualmente al propietario del dispositivo que la presión de caudal en la bomba es suficiente para regar sin tener que arrancar la bomba hidráulica.

3. Configuración módulo Arduino UNO Rev3.

Una de las principales causas de la elección de este tipo de módulo consiste en que Arduino posee su propio Software IDE open-source disponible para todo tipo de sistemas operativos, en este caso empleado con un MacOS Catalina.

Lo primero de todo, se instalará el Software IDE de la propia página de Arduino “<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>”, concretamente la versión 1.8.12, a través del cual se podrá desarrollar la codificación necesaria para la implementación de la lógica requerida en el microcontrolador, la que se describe a continuación.

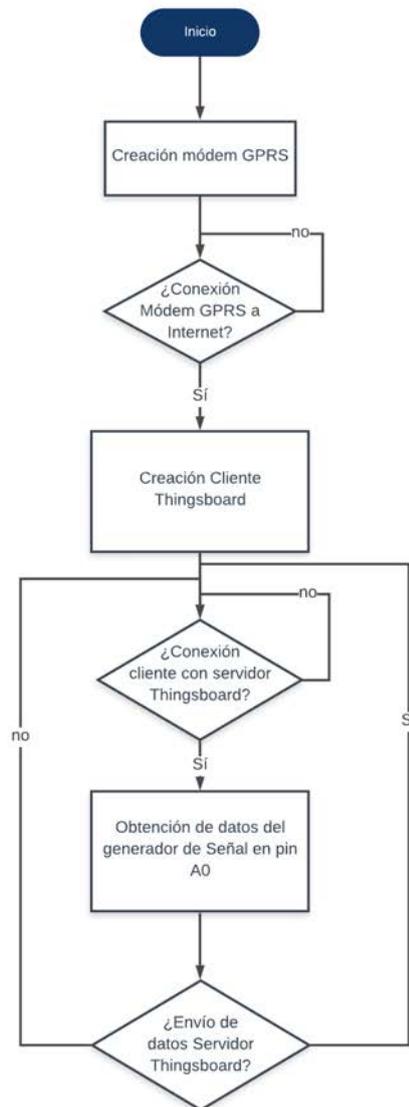


Figura 54. Diagrama Flujos: Lógica Microcontrolador

Una vez diseñada la lógica que debe seguir el microcontrolador se pasará al desarrollo de la misma, en donde se describirá detenidamente el código realizado para el correcto funcionamiento del dispositivo.

Para comenzar, se debe realizar la instalación de la librería SoftwareSerial, para poder definir pines digitales como pines de Transmisión y Recepción. En concreto los pines 7 y 8 como pines Tx y Rx:

- a. Instalación e inclusión de la librería:

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

- b. Definición pines:

```
// Serial port for GSM shield
SoftwareSerial serialGsm(7, 8); // RX, TX pins for communicating with modem
```

Tras configurar los pines 7 y 8 como pines de transmisión y recepción que permitirá conectar el módulo Arduino con el Módem GPRS, se describirá la lógica empleada referente al módulo GPRS.

- Configuración módulo GPRS:

Este será configurado a través de una librería propia de Arduino “tinyGSM”, que se puede localizar dentro del Gestor de Librerías del propio IDE, y que permite agilizar el proceso de creación de módems GSM/GPRS.

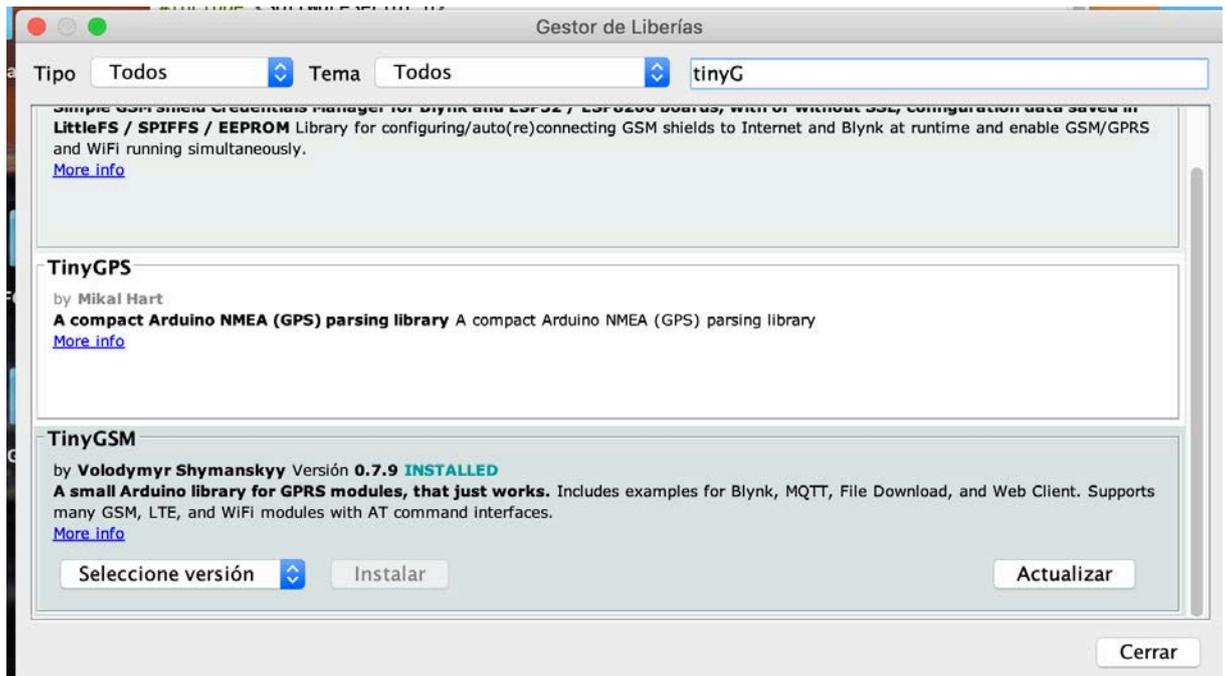


Figura 55. Librería tinyGSM Arduino

c. Inclusión de la librería:

```
#include <TinyGsmClient.h>
```

d. Definición del chip empleado en el módulo GPRS, en este caso el chip A6:

```
#define TINY_GSM_MODEM_A6
```

e. Definición del módem GPRS:

```
// Initialize GSM modem  
TinyGsm modem(serialGsm);  
  
// Initialize GSM client  
TinyGsmClient client(modem);
```

f. Conexión módem GPRS a Internet:

```

/**
 * Method to connect to Modem GPRS
 */
bool connectModem() {
  Serial.print("Waiting for network...");
  if (!modem.waitForNetwork()) {
    Serial.println(" fail");
    return false;
  }
  Serial.println(" OK \n");

  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.print(apn);
  if (!modem.gprsConnect(apn, user, pass)) {
    Serial.println(" ... fail");
    return false;
  } else {
    Serial.println(" ... OK");
  }
  return true;
}

```

- Configuración Servidor Thingsboard

Hace referencia a la configuración de la conexión que se establece entre el módem GPRS configurado como cliente con el servidor Thingsboard.

Esto se realiza mediante el uso de una librería propia de Arduino denominada Thingsboard, que permite establecer conexiones cliente/servidor de forma rápida y sencilla.



Figura 56. Librería Thingsboard Arduino

g. Inclusión librería en el microcontrolador:

```
#include "ThingsBoard.h"
```

h. Establecimiento de cliente Thingsboard asociado a un módem GPRS:

```

// Initialize GSM client
TinyGsmClient client(modem);

// Initialize ThingsBoard instance
ThingsBoard tb(client);

```

i. Conexión del módem GPRS contra el servidor Thingsboard:

```

/**
 * Method to connect to the Thingsboard
 */
void connectThings() {
  Serial.println(F(" ----- Connection ThingsBoard -----"));
  if (!tb.connect(THINGSBOARD_SERVER, TOKEN)) {
    Serial.println("Failed to connect");
    delay(20000);
  }
}
}

```

En donde:

- THINGSBOARD_SERVER: es la IP del servidor Thingsboard
- TOKEN: es el identificador del dispositivo creado en la cuenta de Thingsboard.

```

#define TOKEN "TOKEN123"
#define THINGSBOARD_SERVER "207.180.221.115"

```

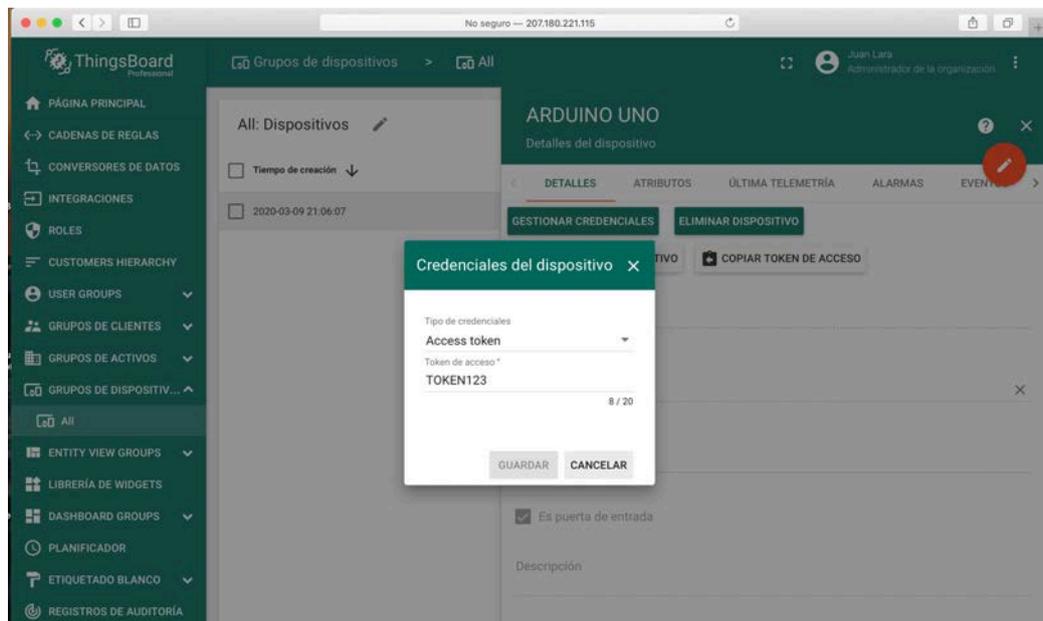


Figura 57. Credenciales Dispositivo Arduino en Thingsboard

Por último, una vez configurado y conectado el cliente-servidor, se realiza el envío de los datos obtenidos en el microcontrolador por parte del generador de señales, hacia el servidor donde se mostrará de forma gráfica e intuitiva el resultado.

- j. Lectura de los datos a través del Pin Analógico A0 del microcontrolador.
- k. Formateo de los valores obtenidos de una señal analógica a valores de tensión 0-5V
- l. Envío de datos mediante el cliente Thingsboard anteriormente creado a través de la propia librería de Thingsboard con el tag “voltaje” para su recepción dentro del Dashboard.

```

/**
 * Method that get the values of sensor and send to ThingsBoard
 */
void getAndSendData() {
  Serial.println(F("----- Getting sensor datas... -----"));
  float adcr = analogRead(0);
  float voltaje = map(adcr, 0, 1023, 0, 50);
  delay(1000);
  Serial.print("Sending voltage data...");
  Serial.println(voltaje / 10);
  tb.sendTelemetryFloat("voltaje", voltaje / 10);
}

```

6.3 FUNCIONAMIENTO BÁSICO

El dispositivo electrónico planteado, centra su estudio en la ecuación de Bernoulli, a través de la cual se permite la obtención de una relación de presión, velocidad y altura entre dos puntos en un fluido de densidad constante moviéndose a lo largo de una línea de corriente.

Por lo que, conociendo la presión mínima de trabajo del sistema de goteo y estudiando de forma continuada la presión de entrada en la bomba se podrá evaluar si cumple con el umbral de presión suficiente para poder abastecer las necesidades hídricas de esa zona del terreno.

Ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Donde:

P_1 : Presión en el orificio de entrada de la bomba

ρ : densidad del fluido.

g : gravedad estándar

v_1 : velocidad del fluido en la entrada

h_1 : altura a la que se encuentra la bomba

P_2 : presión a la salida de la tubería y entrada de los goteros

v_2 : velocidad del fluido a la entrada de los goteros.

h_2 : altura a la que se encuentra el orificio de salida de la tubería.

Por un lado, mediante el principio de continuidad a través del cual se define que el caudal (Q) del fluido debe permanecer constante a lo largo de toda su duración, se puede determinar una relación entre la velocidad v_1 y v_2 :

$$Q_1 = Q_2 \quad \rightarrow \quad A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \cdot v_1$$

Por otro lado, a través del principio de Torricelli, se conocerá la velocidad a la salida del embalse que debido a que las áreas de la tubería que recorre desde el embalse hasta la entrada de la bomba es la misma, se puede determinar mediante principio de continuidad que es constante:

Ecuación Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh} = v_1$$

donde:

- h: es la altura desde la superficie del embalse hasta el orificio donde se encuentra la tubería.
- g: gravedad

Ya que se conocen todos los datos se puede calcular una presión mínima (P_1) que obtener a la entrada de la bomba para que el sistema de riego funcione sin ningún tipo de problemas sin la puesta en funcionamiento de la motobomba.

Una vez conocida la presión mínima a obtener en la entrada de la bomba para el correcto funcionamiento del sistema, a través del dispositivo diseñado se podrá obtener las presiones hidráulicas sometidas en el orificio de entrada de la bomba con una periodicidad, pudiéndose evaluar si esta presión es igual o superior a la anteriormente calculada como presión mínima, permitiendo observar que el sistema es capaz de abastecer las necesidades hídricas de alguno de los sectores del terreno sin la puesta en marcha de la bomba, obteniéndose así un ahorro energético o lo que es lo mismo una optimización de consumo.

Funcionamiento electrónico del dispositivo:

1. Mediante un generador de señales se simula la salida analógica de un sensor de presión hidráulica, el cual permitirá conocer con exactitud la presión de entrada de caudal en la bomba.
2. Estos datos de tensión suministrados por el generador se introducen a través de un pin analógico al módulo microcontrolador, el cual tras su recepción lo transforma de una señal analógica a datos de tensión, por lo que conociendo las características del supuesto sensor de presión empleado se podría obtener la presión hidráulica en el orificio de entrada de la bomba.
3. Una vez están los datos en el módulo microcontrolador, se envían al servidor creado mediante la plataforma Thingsboard a través del módulo GPRS.
4. Cuando estos datos son recibidos en el servidor, mediante la interfaz gráfica diseñada se podrán analizar y evaluar determinando si la presión de entrada en la bomba es suficiente para poder cubrir las necesidades hídricas del sector con mayor desnivel respecto a la bomba hidráulica.
5. Para poder observar estos datos se podrá acceder desde cualquier punto con conexión a internet, tan solo registrándose con la cuenta de Thingsboard en el servidor habilitado.

7 SIMULACIÓN CASOS PRÁCTICOS

El dispositivo diseñado, tal y como se comenta a lo largo del proyecto, es un dispositivo análogo al real, en donde se tendría acceso a la bomba hidráulica para poder obtener las medidas de presión.

Para poder evaluar el posible ahorro en el consumo de combustible de la bomba se han realizado dos casos prácticos partiendo de los datos que se tienen del terreno a cultivar y sus características.

Donde según los datos de partida se puede obtener la presión mínima a la entrada de la bomba que se debe superar para poder prescindir de la bomba.

$$P_{\min} = P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(\Delta h)$$

5. Cálculo $v = v_1 = \sqrt{2gh}$

g (gravedad) = 9.8 m/s²

h (altura de la superficie del estanque hasta el orificio de la tubería) = 6 m

$v = v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 6} \approx 10.844$ m/s²

6. Cálculo $v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \cdot v_1$

Como se dice que las áreas de todas las tuberías son iguales $A_1 = A_2 = A$

$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \cdot v_1 = \left(\frac{A}{A}\right) \cdot v_1 = v_1 \approx 10.844$ m/s²

7. Cálculo de $\Delta h = h_2 - h_1$: Diferencia de altura entre la bomba hidráulica y el extremo final de la tubería donde se encuentran los goteros.

Según los datos de la finca, la zona B se encuentra situada a un desnivel de 15m respecto la bomba hidráulica, por lo que este $\Delta h = -15$ m

8. Cálculo de P_2 : Presión mínima necesaria para el correcto funcionamiento del sistema de riego

Tal y como se menciona en los datos de los goteros empleados en el sistema de riego, estos trabajan a una presión comprendida entre 5-40 mca, por lo que se establece como una presión adecuada para su trabajo de 25 mca

$P_2 = 25$ mca = 2.452 bar = 2.452 atm

9. Cálculo de $P_{\min} = P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(\Delta h)$

g (gravedad) = 9.8 m/s²

ρ (densidad fluido Agua dulce) ≈ 1000 Kg/m³

$$1\text{atm} = 101325 \text{ N/m}^2$$

$$P_{\min} = P_1 = 2.452 + 1000 * 9.8 * (-15) = 2.452\text{atm} - 147000\text{N/m}^2 = 2.452\text{atm} - 1.4507\text{atm} = 1.0013 \text{ atm}$$

Una vez se ha calculado la presión mínima a obtener en el orificio de entrada de la bomba de riego, se estipula en el servidor Thingsboard la Alarma con un umbral que determine que la tensión obtenida marca una presión de 1.0013 atm.

En este caso, se ha marcado un umbral de tensión mínima de 4V, esto dependerá del sensor que se tenga instalado en la bomba, pero para la simulación de los casos prácticos se tomará que 4V sería una presión de 1.0013 atm en el sensor simulado.

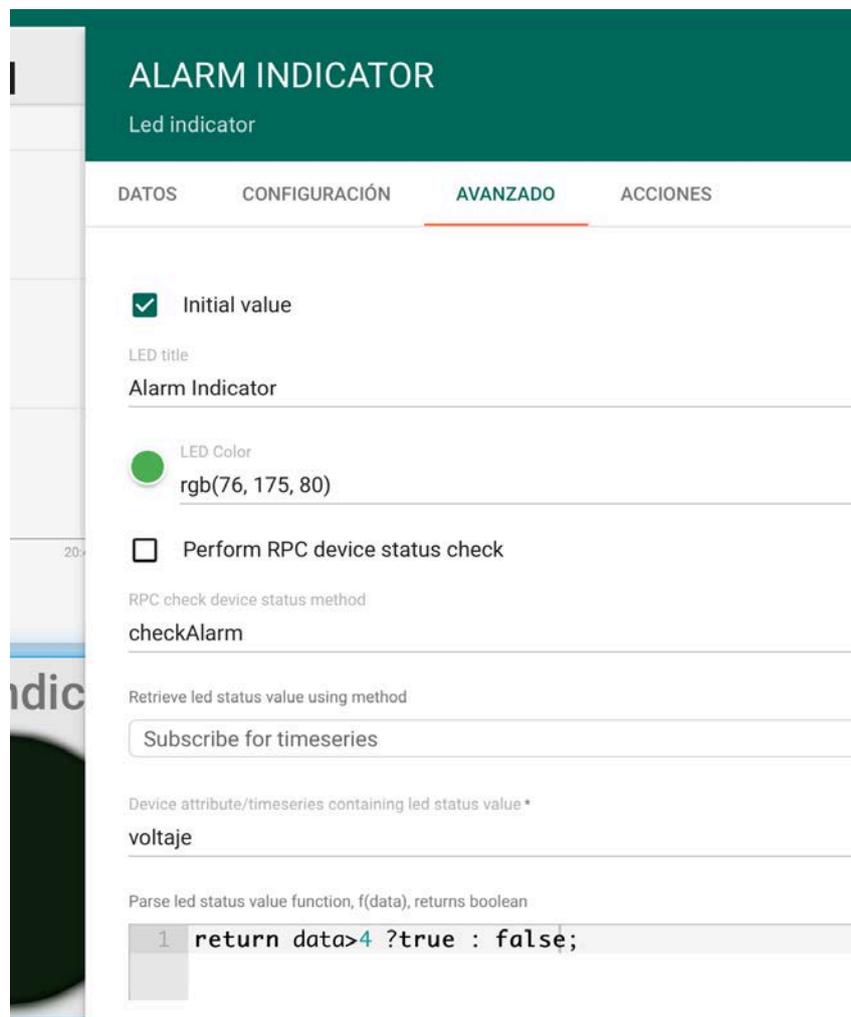


Figura 58. Configuración alarma de presión

Por lo que toda aquella tensión que marque el generador de señales por encima de los 4V hará que la alarma se active, avisando al usuario de que tiene la posibilidad de regar sin la puesta en marcha de la bomba permitiéndole un ahorro energético de la misma.

7.1 CASO PRÁCTICO 1

En este primer caso práctico se realiza una simulación en donde la presión obtenida transformada a datos de tensión no supera los 4V, por lo que la alarma permanecerá apagada indicándole al usuario que para poder suministrar el riego al terreno cultivado debe encender la bomba hidráulica.

- Valor de tensión obtenido por el generador de señales: $3.69V \approx 3.7V$

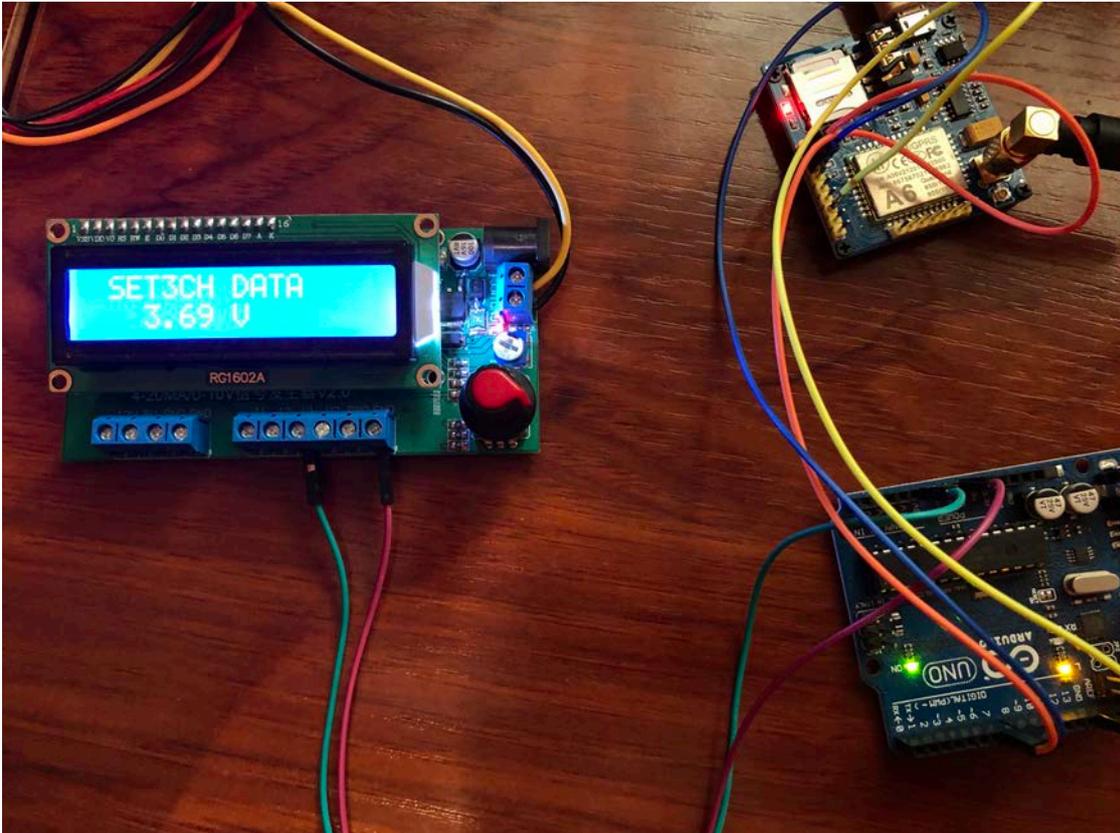


Figura 59. Generador de Señales Caso 1

```

/dev/cu.usbmodem14101

Sending voltage data...3.70
----- Connection ThingsBoard ----- OK

----- Getting sensor datas... -----
Sending voltage data...3.70
----- Connection ThingsBoard ----- OK

----- Getting sensor datas... -----
Sending voltage data...3.70
----- Connection ThingsBoard ----- OK

```

Figura 60. Valores obtenidos en el módulo Arduino Caso 2

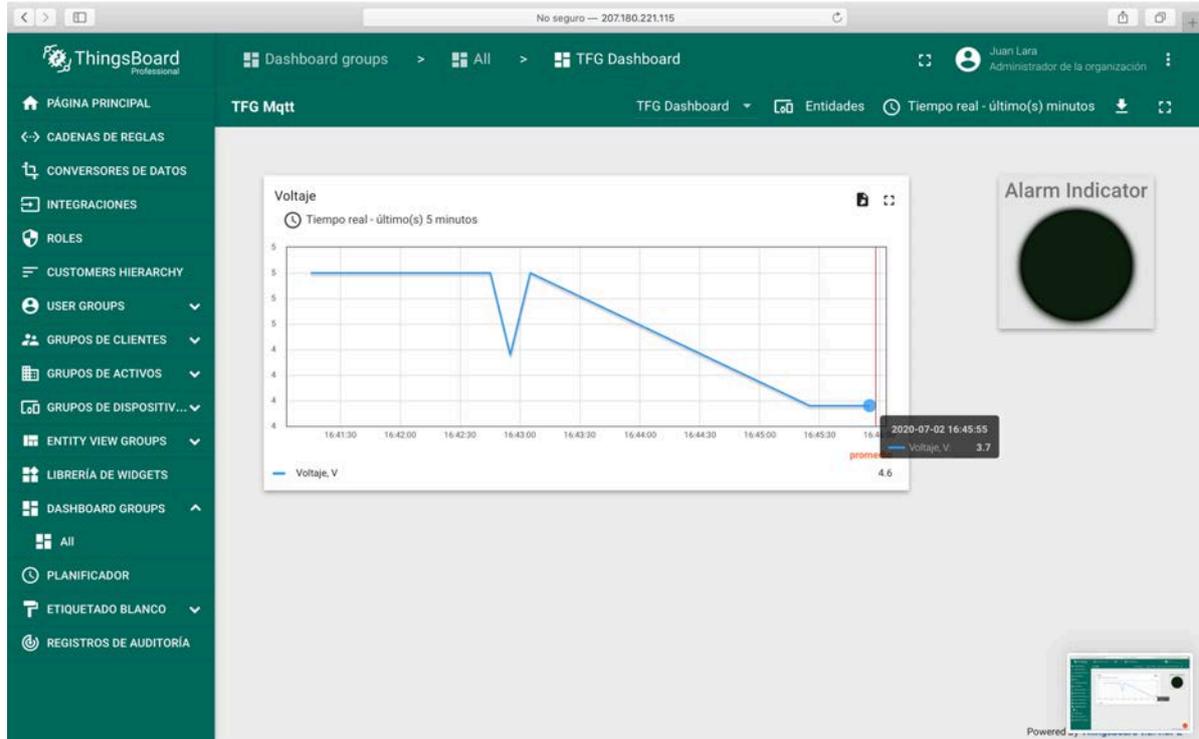


Figura 61. Imagen del servidor Thingsboard tras recepción datos Caso 1

7.2 CASO PRÁCTICO 2

En este segundo caso práctico se realiza una simulación en donde la presión obtenida transformada a tensión supera los 4V, por lo que la alarma permanecerá encendida indicándole al usuario que para suministrar el riego al cultivo no debe arrancar la bomba hidráulica, permitiéndole así un ahorro en el consumo de combustible de la misma.

- Valor de tensión obtenido por el generador de señales: $4.66V \approx 4.7V$

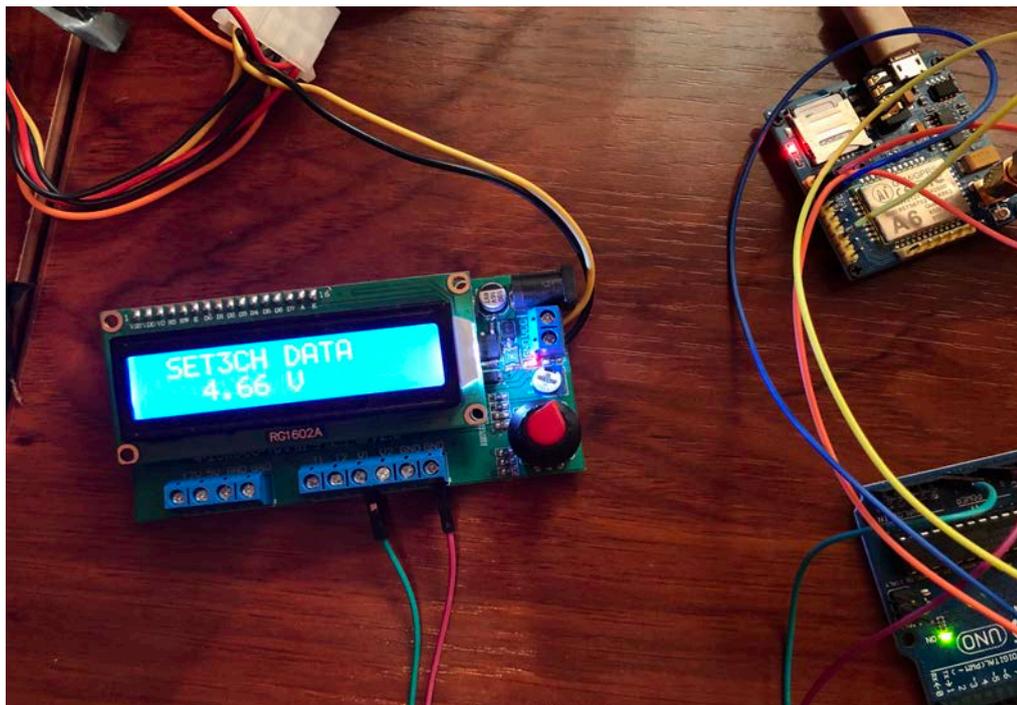


Figura 62. Generador Señales Caso 2

```

/dev/cu.usbmodem14101
----- Getting sensor datas... -----
Sending voltage data...4.10
----- Connection ThingsBoard -----
Failed to connect
----- Connection ThingsBoard -----
----- Connection ThingsBoard ----- OK

----- Getting sensor datas... -----
Sending voltage data...4.70
----- Connection ThingsBoard ----- OK

----- Getting sensor datas... -----
Sending voltage data...4.70
----- Connection ThingsBoard ----- OK

```

Figura 63. Valores obtenidos en el módulo Arduino Caso 2

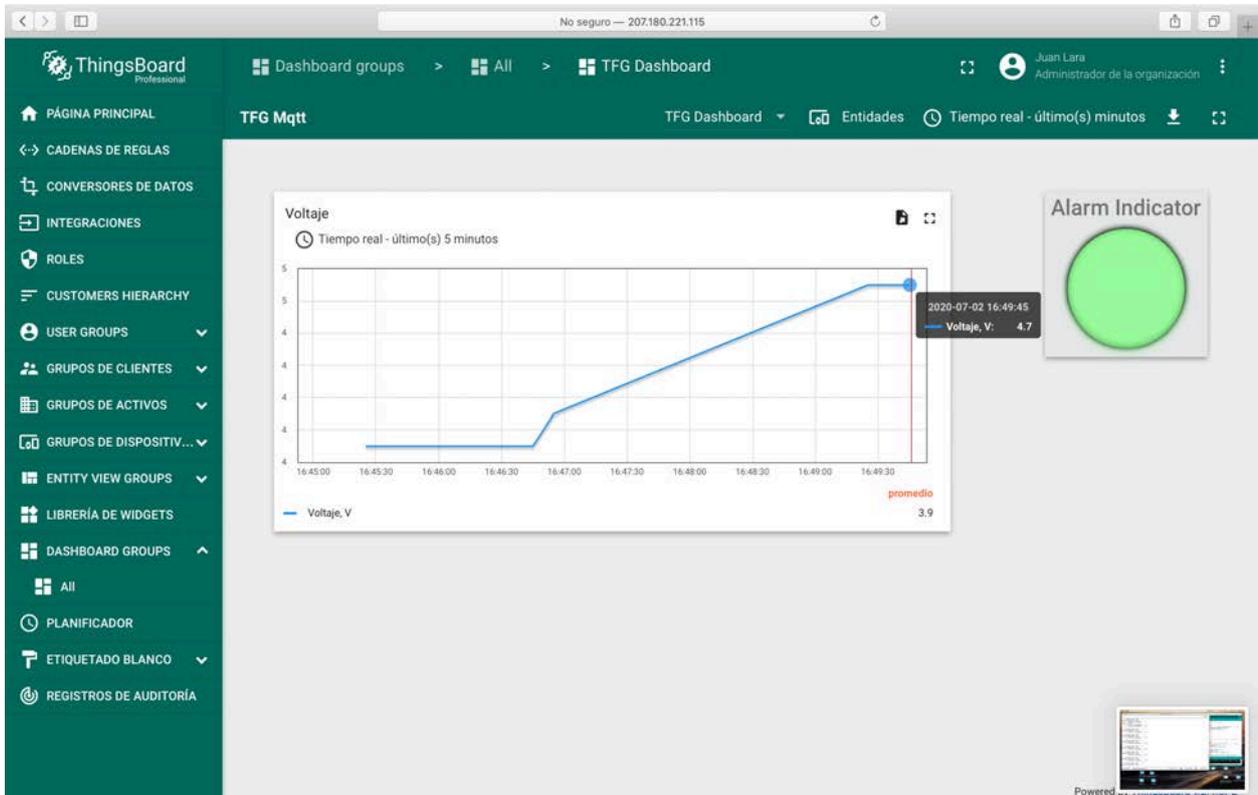


Figura 64. Imagen del servidor Thingsboard tras recepción datos Caso 2

7.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Para comprobar el correcto funcionamiento del dispositivo, en donde permita realizar una optimización en el consumo de combustible de la bomba hidráulica, se evalúan ambos casos a nivel de costes por consumo energético.

Los datos iniciales de partida sobre el sistema de riego en la finca son los siguientes:

- Según los datos de la bomba, esta posee un consumo de combustible de 1.4L/h
- Goteros poseen un caudal de 8L/h

(h/día)	Riego Verano	Riego Resto Año
Zona A (alta)	3h	1h
Zona B (baja)	2h	1h

Tabla 12. Necesidades Hídricas

Caso 1:

Como la presión obtenida a la entrada de la bomba no es suficiente para poder abastecer las necesidades hídricas del terreno más bajo, el consumo de la bomba sería el mismo en ambas zonas siendo igual que si no se implantase el dispositivo optimizador.

$$\text{Consumo}_{\text{Verano}} = 5h * 1.4L/h = 7.0L \text{ de combustible al día.}$$

$$\text{Consumo}_{\text{RestoAño}} = 2h * 1.4L/h = 2.8L \text{ de combustible al día.}$$

Caso 2:

Como la presión es óptima para poder abastecer el riego en la zona B de la finca, el consumo para el riego de esa zona es nulo ya que se regaría sin la utilización de la bomba hidráulica. Por lo que solo se tendría en cuenta el riego en el sector A del terreno.

$$\text{Consumo}_{\text{Verano}} = 3h * 1.4L/h = 4.2L \text{ de combustible al día.}$$

$$\text{Consumo}_{\text{RestoAño}} = 1h * 1.4L/h = 1.4L \text{ de combustible al día.}$$

Por lo que como se puede observar al implantar el dispositivo se puede llegar a obtener ahorros de:

- $\text{Ahorro}_{\text{Verano}} = 7.0 - 4.2 = 2.8 \text{ L al día, lo que supone un 40\% de ahorro en los costes por combustible.}$
- $\text{Ahorro}_{\text{RestoAño}} = 2.8 - 1.4 = 1.4 \text{ L al día, lo que supone un 50\% de ahorro en los costes por combustible.}$

(L/día)	Consumo Verano	Consumo Resto Año
Caso Práctico 1	$5h * 1.4L/h = 7 \text{ L}$	$2h * 1.4L/h = 2.8 \text{ L}$
Caso Práctico 2	$3h * 1.4L/h = 4.2 \text{ L}$	$1h * 1.4L/h = 1.4 \text{ L}$
Optimización Caso 2 frente al 1	Ahorro del 40%	Ahorro del 50%

Tabla 13. Optimización de Consumo

8 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

8.1 CONCLUSIONES

El uso de los dispositivos electrónicos para la optimización de costes en la agricultura es una práctica cada vez más común, debido a que con el paso del tiempo la población está sufriendo un crecimiento muy elevado provocando a su vez un aumento proporcional en la producción agrícola, principal fuente de alimentación.

Estas prácticas donde el uso de las nuevas tecnologías se emplea con la finalidad de obtener un gran aumento en la producción, así como el establecer un control exhaustivo de los recursos naturales evitando su extinción, son causantes de uno de los mayores inconvenientes existentes en la agricultura de hoy día, los elevados costes en infraestructuras y mantenimiento.

Debido a la aparición de este gran inconveniente se ha vuelto de necesidad imprescindible el estudio del empleo de estas nuevas tecnologías con la finalidad de realizar una optimización de los costes agrícolas.

El resultado final que se ha pretendido obtener en este trabajo, con el diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico capaz de optimizar el consumo de combustible de una bomba de riego, no es más que poder dar una visión en la que realmente el uso de estas nuevas tecnologías sea capaz de provocar un ahorro energético en la práctica de la agricultura de regadío.

A lo largo del trabajo se ha seguido un planteamiento para el dispositivo basado en la ecuación de Bernoulli, que, a través del estudio de las presiones de entrada y salida en una bomba hidráulica, se permite obtener un punto en el que la motobomba no es necesaria, permitiendo un estudio de los costes energéticos en relación a ese punto alcanzado.

Este planteamiento ha proporcionado dos simulaciones en las que se han podido evaluar el correcto funcionamiento y finalidad del dispositivo.

En una primera prueba Caso 1, se ha obtenido que para terrenos cultivados en los que la presión de entrada de agua en la bomba no es elevada o por el contrario no existe un desnivel entre la motobomba y el final de la tubería de expulsión, el dispositivo diseñado no permite una optimización del consumo debido a que el funcionamiento de la bomba hidráulica es necesario en todo momento.

Pero por el contrario en la prueba Caso 2, en condiciones ideales de terreno en los que la entrada de agua en la bomba proviene con cierta presión y existe un desnivel entre la motobomba y cultivo a irrigar, el dispositivo permite alertar de un posible ahorro energético debido a que no es necesaria la puesta en marcha de la bomba hidráulica para el riego de ese sector del terreno.

Por lo que finalmente, tras el estudio de los dos casos planteados y llevados a cabo, se concluye que el dispositivo electrónico diseñado y desarrollado es viable para ciertas casuísticas donde el desnivel es favorable, permitiendo una gran optimización de consumo energético que no es más que un ahorro en cuanto a contaminación y costes monetarios.

8.2 FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Como futura línea de trabajo se plantea la automatización completa del control del riego a través del dispositivo electrónico diseñado.

En donde no solo se permita alertar al usuario de poder realizar el riego sin la puesta en marcha de la bomba hidráulica, sino que además se pueda gestionar la apertura de las válvulas para el riego de forma remota a través de la propia interfaz gráfica diseñada en la plataforma Thingsboard.

Para ello se contemplan dos posibles protocolos de comunicación:

- Protocolo Mqtt, ya que Thingsboard proporciona un bróker Mqtt donde cliente y servidor pueden comunicarse, se podría realizar la comunicación entre el propio usuario y el módulo microcontrolador permitiéndole enviar una alerta al dispositivo cuando el usuario desee regar el terreno sin el empleo de la bomba, por ejemplo, a través de un nuevo botón configurado en el Dashboard del servidor.
- Protocolo RPC, en donde se emplea una comunicación a través de llamadas a procesos RPC, permitiéndose una comunicación entre cliente y servidor de forma segura. Por ejemplo, empleando un Siwth Control de Thingsboard que sea capaz de lanzar una llamada a procesos implementados en el dispositivo.

REFERENCIAS

- [1] *Comparativa cultivos regadío y secano* - http://www.juntaex.es/filescms/con03/uploaded_files/PaginaPrincipal/DireccionesGenerales/DirGralDesarrolloRural/regadio_tierrabarros/DocumentacionGeneral/Anejos/25_Estudio_Economico_y_de_Viabilidad_v10.pdf
- [2] *Fases Crecida Nilo* - <http://socialesylengua.blogspot.com/2012/02/la-crecida-del-nilo.html>
- [3] *Qanats* - <https://www.iagua.es/blogs/luis-martin-martinez/qanats-venas-desierto>
- [4] *Contexto histórico Riego* - <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM019406.pdf>
- [5] *World Resources Institute* - <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49251961>
- [6] *Nuevas Tecnologías en agricultura* - <https://byzness.elperiodico.com/es/sostenibles/20190322/agricultura-tecnologia-7366517>
- [7] *Método Riego Superficie I* - http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%208.Riego%20por%20superficie/page_04.htm
- [8] *Método Riego Superficie II* - <https://fundacionsuna.org/wp-content/uploads/PDF/Jaime-Lamo/MANUAL-MÉTODOS-DE-SISTEMAS-DE-RIEGO.pdf>
- [9] *Método Riego Aspersión I* - <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/aspersion.aspx>
- [10] *Método Riego Aspersión II* - <https://www.redagricola.com/cl/pivotes-la-revolucion-circular-del-riego/>
- [11] *Método Riego Goteo I* - <https://www.agrohuerto.com/riego-por-goteo-que-es/>
- [12] *Método Riego Goteo II* - <http://ciudad-huerto.org/wp-content/uploads/2015/10/TALLER-DE-RIEGO-TEORÍA-ed.03-ciudad-huerto.pdf>
- [13] *Sistema Riego* - <https://prakor.com/componentes-de-un-sistema-de-riego-localizado/>
- [14] *Bombas Volumétricas I* - <http://2mkirenegarcia829380.blogspot.com/2015/>
- [15] *Bombas Volumétricas II* - <https://www.ibericavacuum.com/blogs/news/bombas-de-vacio-mecanicas-contemporaneas>
- [16] *Bombas Rotodinámicas I* - <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/6+-+BOMBAS+CENTRÍFUGAS.pdf>
- [17] *Bombas Rotodinámicas II* - <https://pt.slideshare.net/MarceloNaranjo/tipos-de-bombas-operaciones/10>
- [18] *Bombas Accionamiento Manual* - <https://labombadeagua.top/manual/>
- [19] *Bombas Accionamiento Hidráulico* - <https://ecllecticomania.net/2010/08/18/la-bomba-de-ariete-y-joseph-montgolfier/>

- [20] Bombas Neumáticas– <https://www.slideshare.net/hugoalejandropozosaravia/bomba-neumatica-de-doble-membrana>
- [21] Electrobombas – <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-y-como-se-calcula-npsdisp-bomba-centrifuga>
- [22] Motobombas - <https://consejos.manomano.es/como-elegir-una-motobomba-n3501>
- [23] Arduino I - <https://www.infootec.net/arduino/>
- [24] Arduino II - <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [25] Módem GPRS I - <http://acoptex.com/wp/basics-project-085f-ai-thinker-a6-gsm-gprs-module-gprs-application-and-gsm-initialization/>
- [26] Módulo GPRS II - <https://www.prometec.net/gprs-llamar-enviar-sms/>
- [27] Thingsboard - <https://thingsboard.io>
- [28] Teorema Bernoulli - http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/23_teorema_de_bernoulli.html
- [29] Mecánica Fluidos y Máquinas Hidráulicas - <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1307/course/section/1605/T06.pdf>
- [30] Arduino library TinyGSM - <https://www.arduinolibraries.info/libraries/tiny-gsm>
- [31] Arduino library SoftwareSerial - <https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial>
- [32] Arduino library Thingsboard - <https://www.arduinolibraries.info/libraries/things-board>
- [33] Fritzing IDE - <https://fritzing.org>

ANEXO A: CÓDIGOS REALIZADOS

Código 1. TFGFinal.ino

```
#define TINY_GSM_MODEM_A6

#include <TinyGsmClient.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include "ThingsBoard.h"

// Datas for modem

const char apn[8] = "internet";

const char user[0] = "";

const char pass[0] = "";

// IP of the server Thingsboard and Token of the ArduinoUno

// configurated in Thingsboard dashboard.

#define TOKEN          "TOKEN123"

#define THINGSBOARD_SERVER "207.180.221.115"

// Serial port for GSM shield

SoftwareSerial serialGsm(7, 8); // RX, TX pins for communicating with modem

// Initialize GSM modem

TinyGsm modem(serialGsm);

// Initialize GSM client

TinyGsmClient client(modem);

// Initialize ThingsBoard instance

ThingsBoard tb(client);

// Set to true, if modem is connected

bool isModemConnected = false;
```

```

void setup() {

  // Set console baud rate

  Serial.begin(115200);

  // Set GSM module baud rate

  serialGsm.begin(115200);

  delay(3000);

  // Lower baud rate of the modem.

  // This is highly practical for Uno board, since SoftwareSerial there

  // works too slow to receive a modem data.

  serialGsm.write("AT+IPR=9600\r\n");

  serialGsm.end();

  serialGsm.begin(9600);

  //Restart Modem

  Serial.println(F("Initializing modem..."));

  modem.restart();

  while (!isModemConnected) {

    Serial.println(F(" ----- Connection Modem -----"));

    //Connect to moden

    isModemConnected = connectModem();

    delay(2000);

  }

  Serial.println(F(" ----- Connection Modem ----- OK"));

}

void loop() {

  if (!tb.connected()) {

    // Connect to the ThingsBoard

    connectThings();

  }

  if(tb.connected()){

```

```
    Serial.println(F(" ----- Connection ThingsBoard ----- OK\n"));

    //Get and Send datas

    getAndSendData();

    delay(2000);

}

tb.loop();

}

/**

    Method to connect to Modem GPRS

*/

bool connectModem() {

    Serial.print("Waiting for network...");

    if (!modem.waitForNetwork()) {

        Serial.println(" fail");

        return false;

    }

    Serial.println(" OK \n");

    Serial.print("Connecting to ");

    Serial.print(apn);

    if (!modem.gprsConnect(apn, user, pass)) {

        Serial.println(" ... fail");

        return false;

    } else {

        Serial.println(" ... OK");

    }

    return true;

}

/**

    Method to connect to the Thingsboard
```

```

*/
void connectThings() {
    Serial.println(F(" ----- Connection ThingsBoard -----"));
    if (!tb.connect(THINGSBOARD_SERVER, TOKEN)) {
        Serial.println("Failed to connect");
        delay(20000);
    }
}

/**
    Method that get the values of sensor and send to ThingsBoard
*/
void getAndSendData() {
    Serial.println(F("----- Getting sensor datas... -----"));
    float adcr = analogRead(0);
    float voltaje = map(adcr, 0, 1023, 0, 50);
    delay(1000);
    Serial.print("Sending voltage data...");
    Serial.println(voltaje / 10);
    tb.sendTelemetryFloat("voltaje", voltaje / 10);
}

```

ANEXO B: PRESUPUESTO

RESUMEN PRESUPUESTO DE ELEMENTOS

Nº ARTÍCULO	ELEMENTO	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL
1	Arduino Uno Rev 3	20 €	1	20 €
2	Módem GSM/GPRS A6	10,84 €	1	10,84 €
3	Fuente de alimentación	16,99 €	1	16,99 €
4	Tarjeta SIM Movistar	5 €	1	5 €
5	Generador de señales	30,96 €	1	30,96 €
6	Servidor Thingsboard	10 €	1	10 €
7	Kit de cables conector	0,341 €	10	3,41 €
8	Cable USB para Arduino	2,14 €	1	2,14 €
TOTAL				99,34 €

Tabla 14. Presupuesto Dispositivo

El precio total obtenido es para la creación y puesta en funcionamiento durante el periodo de un mes, ya que la tarjeta SIM y el servidor Thingsboard han sido contratados para cuatro semanas.

Por lo que el dispositivo tendría un coste adicional al mes de 15 €.

DESCRIPCIÓN ELEMENTOS

1. ARDUINO UNO REV 3

- Precio: 20€
- Proveedor: Arduino Store
- URL de compra:

<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

2. MÓDEM GSM/GPRS A6

- Precio: 10,84 €
- Proveedor: Banggood
- URL de compra:

https://www.banggood.com/SIM900A-Smart-Electronics-GPRS-A6-Module-Wireless-Extension-Module-GSM-GPRS-Board-p-1111193.html?gmcCountry=ES¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=lijing&utm_campaign=ssc-es-all-0316&ad_id=425803135184&gclid=CjwKCAjwrvv3BRAJEiwAhwOdM1Jw5E-ZxxhccVOrVLKTbuhsMgG-005ck7ZXLv47Mh8KkeFOUeEFZxoCpeMQAvD_BwE&cur_warehouse=CN

3. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

- Modelo: SFX Micro ATX 500W de L-Link.
- Precio: 16,99€
- Proveedor: PCcomponentes
- URL de compra:

https://www.pccomponentes.com/l-link-fuente-de-alimentacion-500w-sfx-micro-atx?gclid=CjwKCAjwrvv3BRAJEiwAhwOdM9OzRiWjNEU7D-fs6MkKOCOV2hMEQq34J-9lmrzmlBf6aicwRDa-hoCn84QAvD_BwE

4. TARJETA SIM

- Modelo: Tarjeta SIM con datos móviles 1GB durante cuatro semanas
- Precio: 5€/mes
- Proveedor: Movistar
- URL de compra:

<https://www.movistar.es/particulares/movil/tarifas-moviles/bono-datos-navega-plus>

5. GENERADOR DE SEÑALES

- Modelo: TGC1701
- Precio: 30,96 €
- Proveedor: Aliexpress
- URL de compra:

https://es.aliexpress.com/item/32224934264.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=439-079-4345&isdl=y&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Gploodle_7_shopping&aff_atform=google&aff_short_key=UneMJZVf&gclsrc=aw.ds&&albagn=888888&&ds_e_adid=438858099991&ds_e_matchtype=&ds_e_device=c&ds_e_network=u&ds_e_product_group_id=306310554666&ds_e_product_id=es32224934264&ds_e_product_merchant_id=107680635&ds_e_product_country=ES&ds_e_product_language=es&ds_e_product_channel=online&ds_e_product_store_id=&ds_url_v=2&ds_dest_url=https://es.aliexpress.com/item/Free-shipping-4-20mA-current-signal-generator-0-20mA-signal-transmitter-0-10V-voltage-and-current/32224934264.html?src=google&albc=10191226970&albag=102259630256&gclid=CjwKCAjwrvv3BRAJEiwAhwOdM0ppyESrHtpTwdTaYKHx:5RFw1HcxH6vOWUyg9OF_yyEkVARcGrK1nRoCbtCQAvD_BwE

6. SERVIDOR THINGSBOARD

- Modelo: Marker
- Precio: 10€/mes
- Proveedor: ThingsBoard
- URL de compra:

<https://thingsboard.io/pricing/>

7. CABLES PARA CONEXIONES

- Modelo: Kit de cable conector para placas de prueba MIKROE-512
- Precio: 3,41 €
- Proveedor: RS Components
- URL de compra:

<https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-cable-conector-para-placas-de-prueba/7916454/>

8. CABLE PARA ARDUINO

- Modelo: Cable USB 2.0 (Male USB A a Male USB B)
- Precio: 2,14 €
- Proveedor: RS Components
- URL de compra:

[https://es.rs-online.com/web/p/cables-usb/1828864?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-CSS_ES_ES_Cables_y_conductores_Whoop-_\(ES:Whoop!\)+Cables+USB-_-1828864&matchtype=&aud-827186183886:pla-306637913429&gclid=CjwKCAjwrvv3BRAJEiwAhwOdM3UbRiUmuVs-F8WfZTqCL-HPcTON54ITiGTTK2tiKBS8zUq8hrGauRoCNDIQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds](https://es.rs-online.com/web/p/cables-usb/1828864?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-CSS_ES_ES_Cables_y_conductores_Whoop-_(ES:Whoop!)+Cables+USB-_-1828864&matchtype=&aud-827186183886:pla-306637913429&gclid=CjwKCAjwrvv3BRAJEiwAhwOdM3UbRiUmuVs-F8WfZTqCL-HPcTON54ITiGTTK2tiKBS8zUq8hrGauRoCNDIQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)