



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE CHICOLOAPAN

Ingeniería en Energías Renovables

Sistema de Distribución de Agua Automatizado Implementando un
Sistema Fotovoltaico Autónomo

Tesis profesional

Que para obtener el Grado de

Ingeniero en Energías Renovables

P R E S E N T A

Saavedra Leal Carlos Daniel

Director: M en C EE Brenda Beatriz Hernández Juárez



Chicoloapan de Juárez, Estado de México a septiembre de 2024



Presentación y directorio de los asesores

El presente trabajo realizado bajo la modalidad de Tesis profesional, titulado “Sistema de Distribución de Agua Automatizado Implementando un Sistema Fotovoltaico Autónomo “y que ha sido realizado por el alumno **Carlos Daniel Saavedra Leal** con matrícula 19020013 ha sido aprobado al igual que aceptado como requisito para obtener el grado de Licenciatura en:

Ingeniería en Energías Renovables

Director

Mtra. Brenda Beatriz Hernández Juárez

Revisor

Mtro. Marco Antonio Lozano Vinalay

Revisor


Dr. Michael Jossué Rojas García

I. Agradecimientos

Gracias infinitas a mis padres María Guadalupe y Carlos Saavedra, por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro. También expreso mi gratitud a mis hermanas Beatriz, Miriam y mi sobrino Sebastián quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme, quienes supieron estar cuando más los necesitaba. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible.

Quiero agradecer a todos los profesores del Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan en especial a la MCEE Brenda Beatriz Hernández Juárez quien me ayudo al desarrollo y culminación de este proyecto de tesis.



Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a el Dr. Federico Félix Hahn Schlam  de la Universidad Autónoma Chapingo. Experto en tecnología de la instrumentación y pionero en el desarrollo de sensores agrícolas avanzados, dejó un legado significativo en el campo de la ingeniería, la automatización de riego, diseño de sensores, equipos de visión, sistemas alternativos de energía y el desarrollo de maquinaria agroindustrial. Su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía constante y su fe inquebrantable en mis habilidades me han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginé.

II. Resumen

El agua es el líquido vital que necesita el ser humano para subsistir, sin embargo, de toda el agua a nivel mundial, solo un muy pequeño porcentaje se encuentra disponible y es dulce, por eso es que este escaso recurso debe utilizarse de manera óptima.

En la presente tesis se realiza el diseño y construcción de un Sistema de Distribución de Agua Automatizado Implementando un Sistema Fotovoltaico Autónomo, el cual consta de varias etapas como lo son diseño de la etapa de control mediante el ya conocido Arduino UNO, diseño de la etapa de potencia por medio de módulos MOSFET (transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor), diseño de la aplicación Android y diseño del sistema fotovoltaico autónomo, así mismo se hace énfasis de que la automatización es una de las claves para evitar el desperdicio de agua.

De acuerdo a la bibliografía revisada la mayor parte de agua potable se desperdicia por malos hábitos de uso, por este motivo se propone diseñar un sistema de distribución de agua que tenga la capacidad de limitar el uso del vital líquido.

El sistema cuenta con 4 electroválvulas controladas por medio de un Arduino UNO, el cual permite hacer funcionar los diferentes modos de operación del equipo, además el Arduino UNO interpreta las señales de los sensores (caudalímetro y modulo Bluetooth) para realizar acciones predeterminadas, cabe resaltar que las electroválvulas también se pueden controlar remotamente mediante una aplicación Android con una distancia de hasta 50 metros dependiendo de la cantidad de obstáculos presentes.

También se presenta un análisis de condiciones climáticas como la radiación solar incidente en la zona, voltaje del panel y temperatura. Con la finalidad de conocer el funcionamiento del prototipo con las condiciones normales de la zona.

El prototipo es capaz de seguir funcionando con normalidad aun en ausencia de radiación solar gracias al sistema autónomo con el que es alimentado todo el prototipo.

Al prototipo se le realizaron diferentes pruebas de funcionamiento en la Universidad Autónoma Chapingo y el Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, obteniendo resultados favorables de operación.

Palabras clave: Automatización, Fotovoltaico autónomo, Distribución de agua

III. Abstract

Water is the vital liquid that human beings need to survive; however, of all the water worldwide, only a very small percentage is available and fresh, that is why this scarce resource must be used optimally.

In this thesis, the design and construction of an Automated Water Distribution System is carried out, implementing an Autonomous Photovoltaic System, which consists of several stages such as design of the control stage by means of the well-known Arduino UNO, design of the power stage by means of MOSFET modules (metal-oxide-semiconductor field effect transistor), design of the Android application and design of the autonomous photovoltaic system, it is also emphasized that automation is one of the keys to avoid wasting water. According to the reviewed bibliography, most of the drinking water is wasted due to bad habits of the users of this liquid, so in this water distribution system an amount of water is assigned per inhabitant, this is a very viable option and in this way it is intended to avoid overconsumption or waste of water. The system has 4 solenoid valves controlled by means of an Arduino UNO, which allows the different modes of operation of the equipment to work, in addition the Arduino UNO interprets the signals of the sensors (Flowmeter and Bluetooth module) to perform predetermined actions, it should be noted that the solenoid valves can also be controlled remotely through an Android application with a distance of up to 50 meters depending on the number of obstacles present. An analysis of climatic conditions such as incident solar radiation in the area, panel voltage and temperature is also presented. In order to know the operation of the prototype with the normal conditions of the area. The prototype is able to continue to function normally even in the absence of solar radiation thanks to the autonomous system with which the entire prototype is powered. The prototype underwent different operational tests at the Autonomous University of Chapingo and the Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, obtaining favorable operating results.

Keywords: Automation, Autonomous photovoltaics, Water distribution

1.	Contenido	
I.	Agradecimientos	3
II.	Resumen	4
III.	Abstract	6
1.	Introducción	10
2.	Antecedentes	12
3.	Marco teórico	14
3.1	Agua disponible en el mundo.	14
3.2	Agua disponible en México	15
3.3	Litros mínimos de agua por habitante al día.....	16
3.4	Desperdicio de agua a nivel nacional.	17
3.5	Arduino.....	19
3.6	Sensores.	21
3.7	Modulo bluetooth HC05 – HC06.....	23
3.8	Caudalímetro.....	24
3.9	Radiación solar sobre el punto de captación.....	25
3.10	Orientación e inclinación de paneles	26
3.11	Panel solar.....	26
3.13	Funcionamiento de la célula solar	27
3.12	Modulo fotovoltaico	27
3.13	Fabricación del módulo fotovoltaico	28
3.14	Diodos de protección	29
3.15	Tipos de conectores para paneles.....	29
3.16	Tipos de paneles.....	31
3.16.1	Paneles solares monocristalinos.....	31

3.16.2 Paneles solares policristalinos	31
3.16.3 Paneles solares amorfos	31
3.17 Parámetros eléctricos.	32
3.18 Perdidas de radiación	33
3.18 Distancia mínima entre filas de paneles.	34
3.20 Diseño de una instalación autónoma	34
3.21 Principios de Solarimetría.	34
3.22 Horas solares pico.	35
3.23 Componentes principales de un sistema fotovoltaico autónomo.	38
3.24 Baterías.	38
3.25 Conexión de baterías en serie	44
3.26 Carga eléctrica estimada.	44
3.27 Cálculo de número de Paneles fotovoltaicos.	45
3.28 Cálculo de banco de baterías.	46
3.29 Cálculo del regulador de carga.	47
3.30 Cálculo de conductor y protección.	47
4. Planteamiento del problema	48
5. Hipótesis	50
6. Objetivos	51
7. Metodología	52
7.1 Propuesta de diseño y características de funcionamiento	53
7.2 Diseño de la etapa de control	55
7.3 Diseño de la etapa de potencia	76
7.4 Diseño de la aplicación Android	81
7.4 Diseño del sistema Fotovoltaico Autónomo	89

7.6 Armado del prototipo.....	94
8. Resultados y discusión	113
8.1 Selección de materiales adecuados para una durabilidad a las condiciones climáticas 113	
8.2 Etapa de control por de Arduino uno.....	113
8.3 Diseño la etapa de potencia por medio de módulos MOSFET.....	128
8.4 Aplicación para el control bluetooth por medio de MITApp Inventor.....	129
8.5 Sistema Fotovoltaico Autónomo	131
8.6 Construcción del prototipo.....	132
8.7 Validar el funcionamiento del sistema bajo circunstancias de operación normal ...	133
8.8 Diagrama eléctrico.....	135
8.8 Sobre la discusión.....	136
9. Conclusiones	141
10 Referencias	142
Anexos	144

1. Introducción

En la actualidad la escases de agua a nivel nacional ha sido un problema generalizado en México, las pocas precipitaciones y los desperdicios de agua han llevado al agravio de los escases de agua, una de las problemáticas que se abordan en esta tesis es el desperdicio de agua y la distribución eficiente de agua. Uno de los métodos de ahorro de agua es solo utilizar la cantidad justa para la demanda básica por habitante, una propuesta para reducir el desperdicio de agua en la actualidad es implementar un sistema de agua automático que distribuya el agua, el diseño de este equipo de distribución de agua permite tener tres modos de distribución del vital líquido.

1. Automático
2. Bluetooth
3. Caudalímetro

El primer programade funcionamiento denominado automático permite la distribución de agua por un tiempo definido una vez al día, a cada electroválvula se le asigna un número determinado de tiempo que va a depender del número de habitantes del lugar.

El segundo programa Bluetooth distribuirá el agua a través de una aplicación para teléfono diseñada especialmente para el sistema de distribución, el cual permitirá controlar las electroválvulas desde el dispositivo teniendo la posibilidad de abrir todas las electroválvulas o solo una de manera remota.

El último programa denominado caudalímetro permite la distribución de agua mediante la medición de un flujo asignado, para este equipo se asignan 200 litros de agua por habitante de cada casa al día, ejemplo; si en la casa de la electroválvula número tres viven cuatro habitantes, entonces el sistema deberá distribuir 800 litros de agua al día y después se cerrará la electroválvula.

Además, este sistema se alimenta por un panel solar y una batería, lo que permite tener el sistema funcionando correctamente hasta 3 días, sin recibir radiación solar, el sistema autónomo es capaz de alimentar la apertura y cierre de 4 electroválvulas así como sus leds indicadores, cuatro módulos mosfet D4184, un caudalímetro, un sensor bluetooth hc-06 o uno hm-10, un display de 16x2 y un Arduino uno.

El alcance de esta tesis se enfoca a zonas rurales sin embargo la adaptabilidad del prototipo, permite utilizarlo en diferentes escenarios donde sea necesario la distribución eficiente de agua.

2. Antecedentes

(Nivetha M., Sundaresan, 2017), publico un artículo sobre un sistema de distribución de agua mediante el uso de un Arduino Mega, LCD, relevadores convencionales y por ultimo interruptores de flujo.

La implementación según el autor es la siguiente. El suministro automatizado de agua puede estar bien ejecutado integrando todos los componentes y fijando el nivel de umbral al Arduino. La mega placa Arduino juega un papel vital y está interconectada con un sensor de flujo. El sensor de flujo y el interruptor de flujo están conectados a cada unidad doméstica por separado. El sensor de flujo se coloca en una línea de suministro de agua que consta de un sensor de molinete para medir la cantidad de agua que pasa a través de él. El sensor de efecto Hall se coloca dentro del sensor de flujo que se utiliza para calcular el pulso de salida. El sensor de efecto Hall viene con tres cables rojo/VCC (entrada de 5 V CC), negro/terra (0 V), amarillo/salida (salida de pulso).

Cabe mencionar que el sistema cuenta con 3 válvulas y un pequeño depósito de agua, la energía suministrada para este sistema de distribución de agua automatizado proviene directamente de la red eléctrica a 230v aproximadamente.

(AdityaRaj Hemrajan, Bindal 2016) desarrollaron un proyecto de un sistema de distribución de agua utilizando Arduino UNO y un sensor GSM el cual tiene como función recibir una indicación mediante un mensaje de texto, la propuesta solo cuenta con dos relevadores y dos electroválvulas, las cuales llenan dos tinacos individuales, a cada uno le corresponde una electroválvula. La analogía de funcionamiento es la siguiente:

Cuando se cambia el interruptor selector 1, ambos relés 1 y 2 se activan y el agua comienza a fluir desde la válvula solenoide 1 y 2 al tanque 1 y 2 del cliente. Cuando ambos tanques están llenos, se envía el mensaje a la autoridad en la sala de control central "ambos tanques están llenos".[1]

En el trabajo descrito no se muestra un prototipo final, solo se muestran datos mediante una pantalla de computadora.

(S. Bharathidasan, Farisha, 2019) El sistema propuesto consta de Arduino para controlador y RF para comunicación. Así, desde una unidad de control principal controlamos el suministro de agua de la empresa. Esto será útil para que los pueblos obtengan un suministro de agua adecuado todos los días.

El transmisor está colocado en la unidad de control principal. Consiste en el transmisor de RF, pantalla de cristal líquido (LCD), Arduino e interruptores. Aquí la pantalla LCD, Arduino, interruptores, módulo de RF y otros componentes necesitan un suministro de 5 V para funcionar, por lo que se utilizan reguladores de voltaje. El suministro se da al circuito inicialmente. La parte del receptor está cerca del tanque de agua para controlar las válvulas. Consta de receptor RF, transformador 240/12 v, unidad de relé. La válvula solenoide y el motor están conectados con los relés.

El Arduino ya está programado para funcionar según nuestras necesidades.

En este prototipo los autores desarrollan un sistema similar al implementado por (AdityaRaj Hemrajan, Bindal 2016) sin embargo, este prototipo cuenta con 4 electroválvulas y utilizan un display que muestra información.

3. Marco teórico

3.1 Agua disponible en el mundo.

La concepción humana sobre el agua como recurso renovable infinito es muy contradictorio. Si bien es cierto que la Tierra está configurada mayoritariamente por el recurso hídrico, 98% de este líquido es salado y se encuentra concentrado en los océanos. Únicamente el 2% restante (40,000 km³) es de agua dulce. Si desglosamos este escaso 2% de líquido potencialmente bebible, descubriremos que 27,760 km³ (68.9%) de agua dulce disponible en la Tierra está congelada en los polos en forma de glaciares y nieve; 12,112 km³ (30.8%) es agua subterránea y sólo 128 km³ (0.3%) es superficial y está localizada en lagos, lagunas, ríos y humedales.[2]

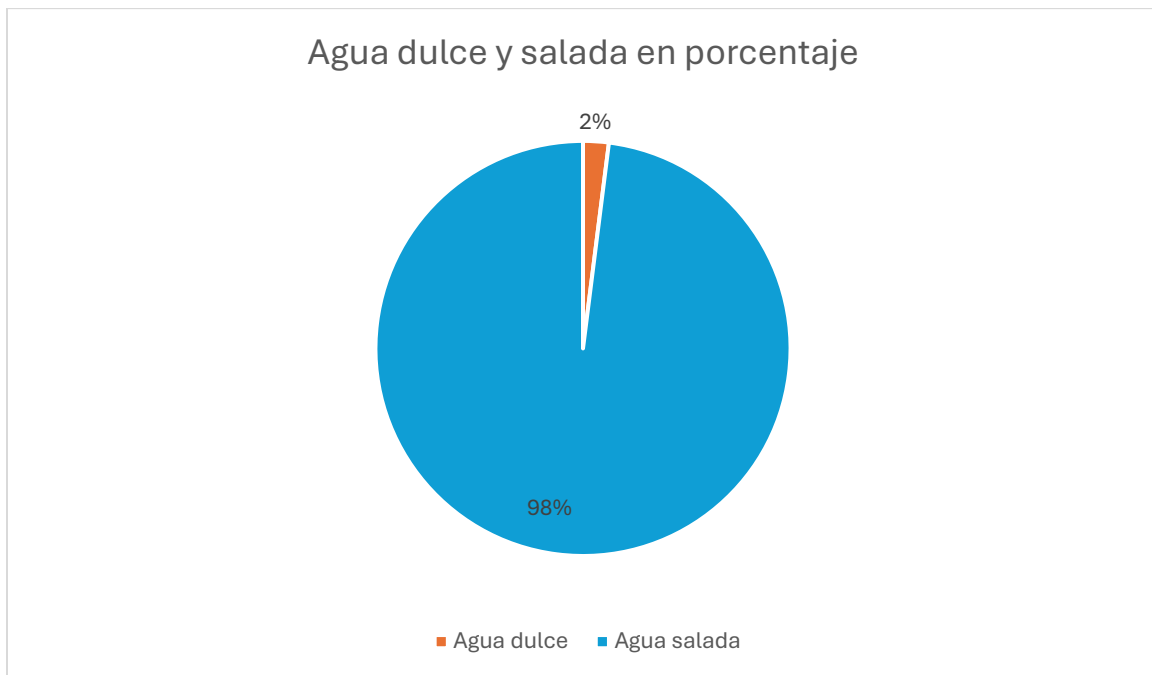


Figura 1 Agua salada y dulce en porcentaje

Fuente: Elaboración propia.

Interpretado de otra manera, y considerando que el porcentaje de agua dulce se encuentra congelada en los polos, se cuenta que el planeta solo tiene un 0.6 % es de agua disponible y líquida.

De lo anterior podemos tener tres grandes grupos, el agua congelada en polos, agua subterránea y por último el agua superficial.

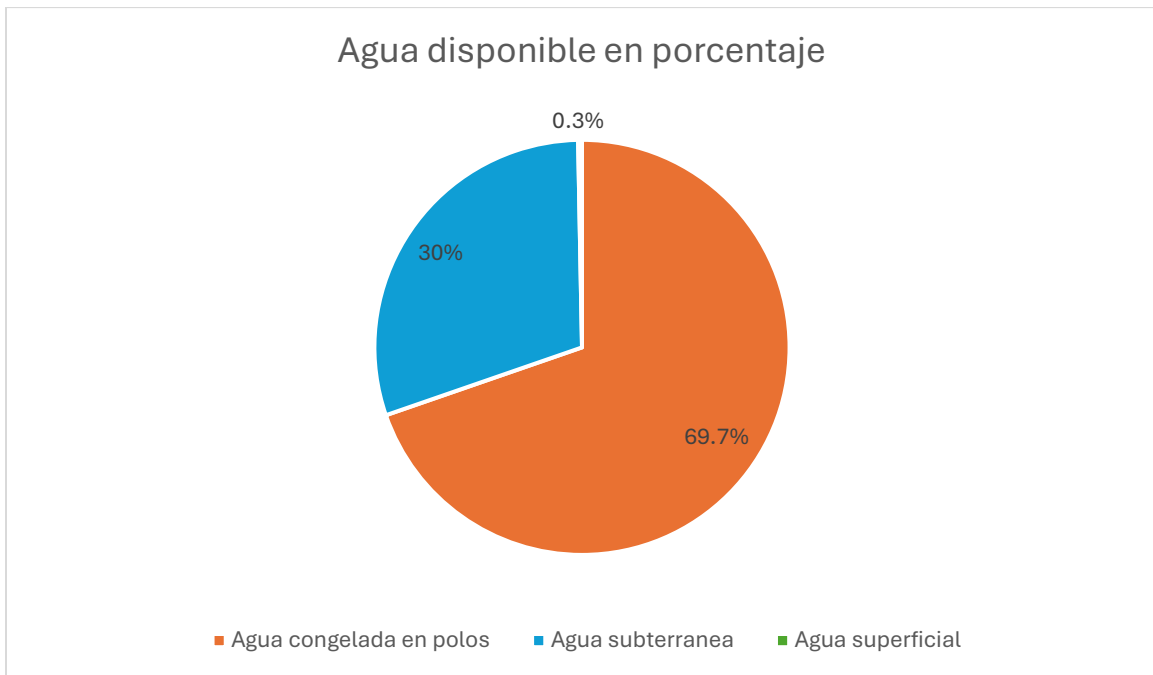


Figura 2 Agua dulce disponible en porcentaje

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Agua disponible en México

En México, 12 millones de personas carecen de acceso al agua potable, 102 de los 653 acuíferos de la nación se encuentran sobreexplotados. 46% del vital líquido se pierde por fugas en las redes de abastecimiento, 80% de los cuerpos de agua del país presenta algún tipo de contaminación por descargas industriales. Sólo 1 de cada 100 litros de agua que caen por concepto de lluvia es captado para su utilización en distintas actividades. Debido a la pobre calidad del agua en la mayoría de las cuencas, México es el país número uno en consumo de agua embotellada

del mundo. Y, por ejemplo, a pesar de que en Oaxaca 33% de la población no tiene acceso al agua en sus hogares, el gobierno federal decidió reducir en un 80% el presupuesto de la Comisión Nacional del Agua para esa cuenca en 2016.[3]

Las estimaciones oficiales del ciclo hidrológico a escala nacional indican que en el territorio precipitan $1,450 \text{ km}^3$ anualmente, de los que el 72% corresponde a evapotranspiración y el resto a la oferta interna renovable (CONAGUA, 2016). Si consideramos las transferencias transfronterizas, la oferta de agua renovable nacional es de $447 \text{ km}^3/\text{año}$, compuesta por 21% de recarga de acuíferos y el resto por agua superficial. Si se compara internacionalmente, la oferta renovable nacional ubica a México entre los países de oferta media-alta por sus valores absolutos (lugar 25), sobre todo por sus recursos subterráneos, pero media-baja en términos per cápita (lugar 94) (FAO, 2016), la disponibilidad no se distribuye de modo homogéneo en un territorio, y en México sucede que el agua renovable se concentra en su región sur, mientras que en las del centro y norte es más bien escasa.

Las concesiones para las regiones de baja disponibilidad (Norte y Valle de México) representaron en 2016, 33% del total nacional, a pesar de que cuentan con sólo 8% de la disponibilidad. A las regiones de disponibilidad media (38% del agua nacional) se concesiona 57% del total nacional, mientras que a las regiones del sur (con 54% del agua nacional) apenas se les concesiona 9%. De modo similar a muchas economías en desarrollo con un sector agropecuario extenso, la demanda de agua para irrigar campos agrícolas es la mayor en el país con 76% del total, seguido por los usos doméstico e industrial en redes municipales, con 14% del total; mientras que la industria autoabastecida (es decir, no conectada a redes de distribución municipal) y la generación de energía termoeléctrica reclaman 4.4% y 4.7%, respectivamente.

3.3 Litros mínimos de agua por habitante al día.

Los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento para cada persona deben ser continuos y suficientes para el uso personal y doméstico. Estos usos incluyen

normalmente agua de boca, saneamiento personal, lavado de ropa, preparación de alimentos, higiene personal y limpieza del hogar. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para garantizar que se cubren las necesidades básicas y que no surjan grandes amenazas para la salud.[4]

La mayoría de las personas que se considera carecen de acceso seguro al agua utilizan alrededor de 5 litros al día, una décima parte de la media diaria utilizada al tirar de la cisterna del retrete en los países ricos. PNUD. Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. 2006 la mayoría de las personas necesita al menos 2 litros de agua salubre al día para la preparación de alimentos. OMS. The right to water. 2003 una mujer en periodo de lactancia implicada en una actividad física moderada requiere un mínimo de 7,5 litros de agua al día. PNUD. Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. 2006. [4]

3.4 Desperdicio de agua a nivel nacional.

En México en el sector doméstico, cada mexicano desperdicia aproximadamente 250 litros de agua, esto debido a fugas en la instalación hidráulica y malos hábitos del uso de este vital líquido, este desperdicio de agua se incluye en duchas prolongadas, lavado de automóviles, agua que se desperdicia por el lavado de platos y dientes al dejar el grifo abierto.

En los hoteles, restaurantes y oficinas, donde se utilizan aproximadamente 300 litros de agua por habitación según datos del SEMARTANT en el año 2019, La mayor parte de este líquido se desperdicia en duchas largas de los huéspedes, falta de reutilización de toallas y ropa de cama, así como las técnicas ineficientes de limpieza y mantenimiento de los equipos de distribución hidráulica.

Por otro lado, en las zonas agrícolas y rurales del país, las técnicas de riego poco ineficientes resultan en un significativo desperdicio de agua, pues los sistemas más utilizados son los de riego por inundación y los más eficientes como el riego por goteo son muy poco utilizados.[5]

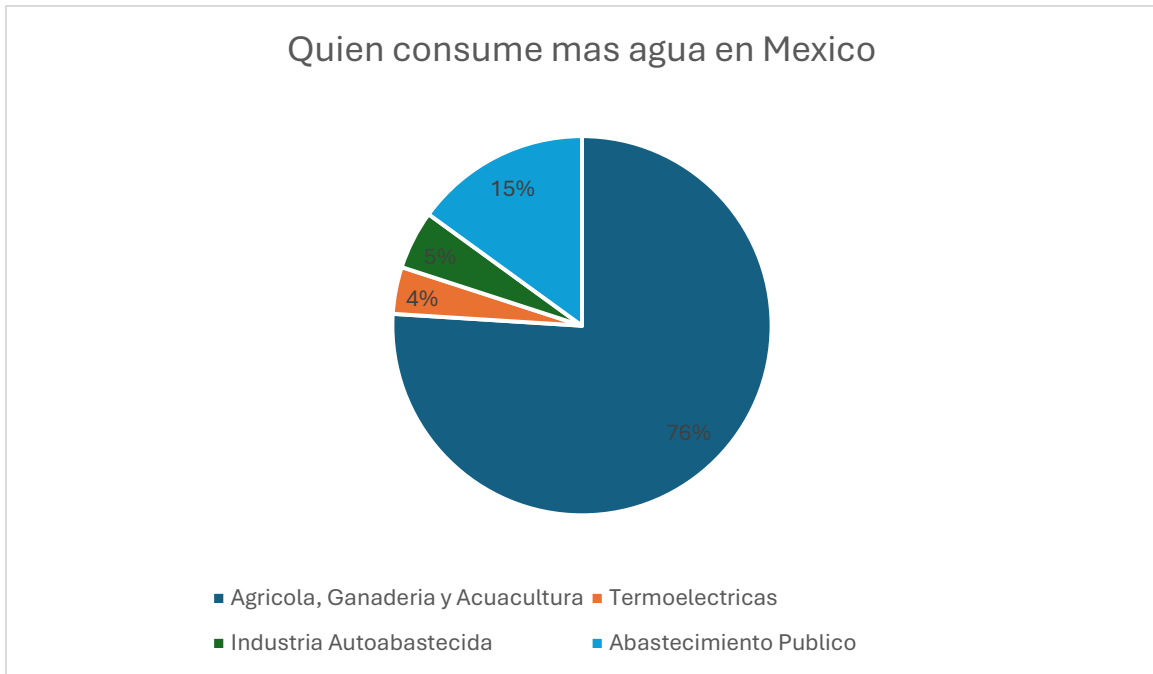


Figura 3 Distribución de agua en México

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra como están subdivididos los 4 grupos:

Agrícola, Ganadera y Acuicultura: Producción de alimentos para consumo humano, forrajes y producción ganadera, Termoeléctricas: Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad, industria autoabastecida: Industria, agroindustria, comercios y servicios que toman el agua directamente de los cuerpos de agua del país, abastecimiento público: Domestico y público urbano (se incluyen empresas, comercios, y servicios que estén conectados a la red).

Los porcentajes no muestran de manera real el uso ya que existen tomas clandestinas y pozos abiertos, de usuarios y empresas que extraen agua, sin contar con los permisos correspondientes lo que contribuye a una sobre explotación.[6]

3.5 Arduino.

Microcontrolador: Un microcontrolador es una pequeña computadora en un único circuito integrado que contiene un núcleo de procesador, memoria y periféricos de entrada/salidas programables. Los microcontroladores están diseñados para aplicaciones integradas, a diferencia de los microprocesadores utilizados en computadoras personales u otras aplicaciones de propósito general. Los microprocesadores se utilizan para ejecutar aplicaciones grandes y genéricas.

Arduino: Arduino es un microcontrolador de placa única, destinado a hacer más accesible la aplicación de objetos o entornos interactivos. El hardware consiste en una placa de código abierto diseñada alrededor de un microcontrolador AtmelAVR de 8 bits o un Atmel ARM de 32 bits. Los modelos actuales cuentan con una interfaz USB, 6 pines de entrada analógica y 14 pines de E/S digitales que permiten al usuario conectar varias placas de extensión. La placa 'Arduino Uno' está basada en ATmega328P.

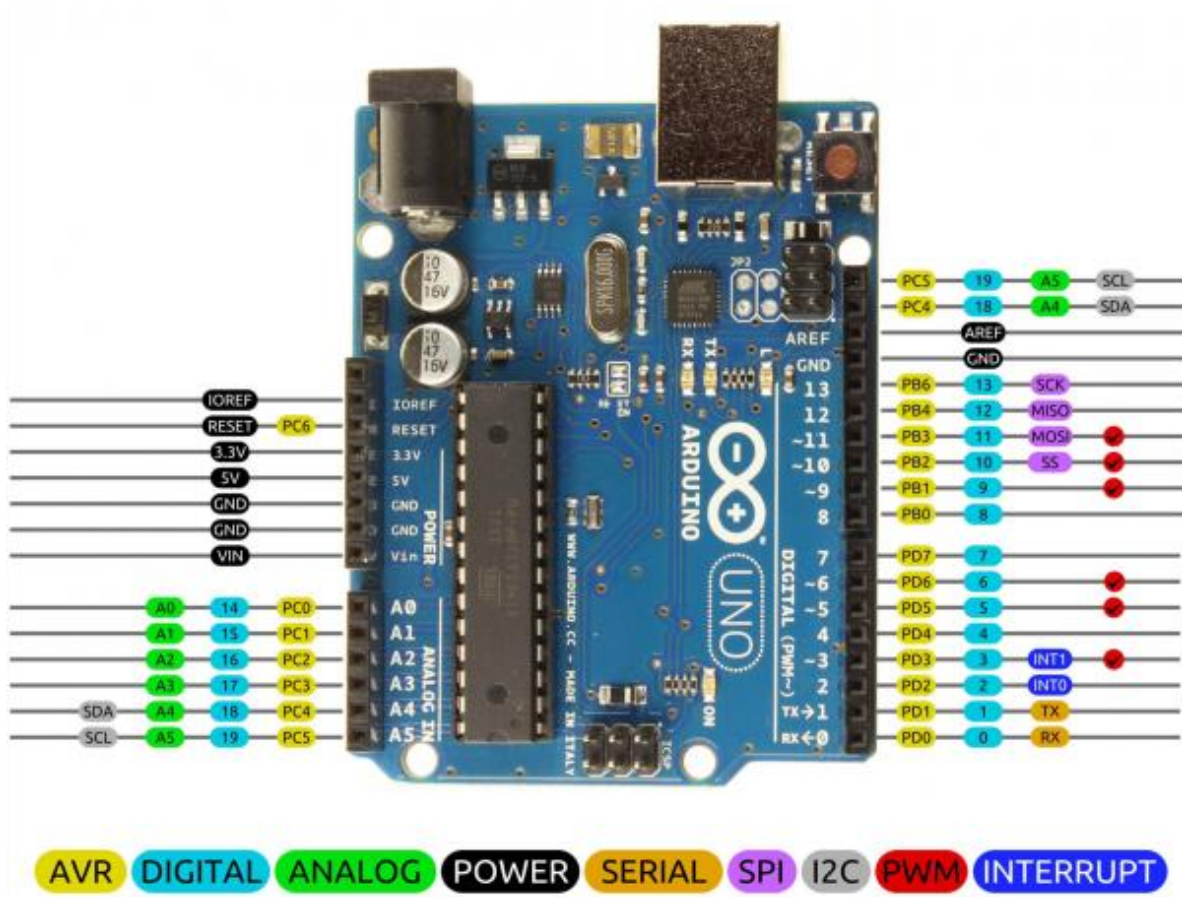


Figura 4 Pines Arduino entrada y salida

Fuente: Medium

ATmega328P: El ATmega328P es un microcontrolador de un solo chip creado por Atmel y pertenece a la serie megaAVR. Hoy en día, el ATmega328 se utiliza comúnmente en muchos proyectos y sistemas autónomos donde se necesita un microcontrolador simple, de bajo consumo y bajo costo. [7]

PINOUT Microcontrolador ATMEGA328P Atmel

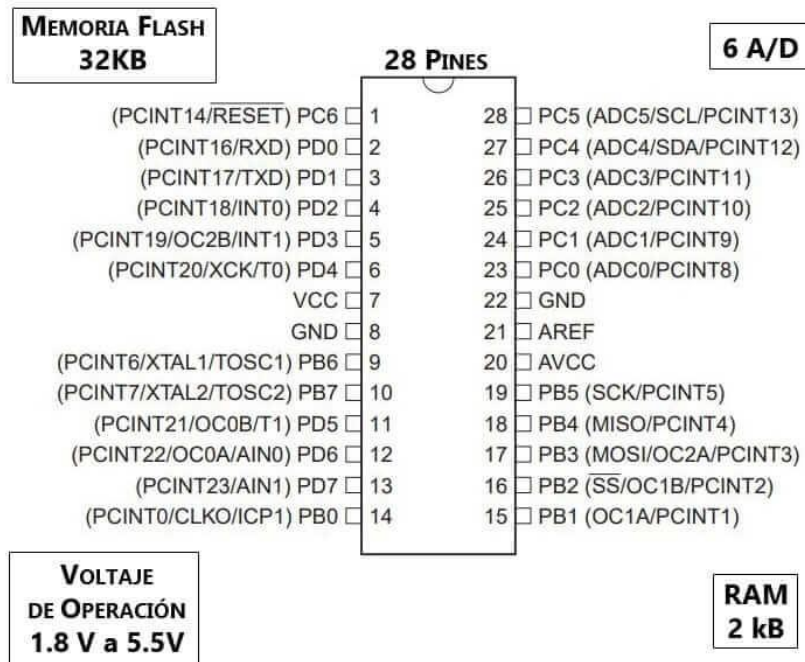


Figura 5 Microcontrolador Atmega328P

Fuente: Unit Electronics

3.6 Sensores.

Diferencia entre sensor y transductor

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar diferentes tipos de materiales, con el objetivo de mandar una señal y permitir que continúe un proceso, o bien detectar un cambio; dependiendo del caso que éste sea. Es un dispositivo que a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir.

Dentro de la selección de un sensor, se deben considerar diferentes factores, tales como: la forma de la carcasa, distancia operativa, datos eléctricos y conexiones. De

igual forma, existen otros dispositivos llamados transductores, que son elementos que cambian señales, para la mejor medición de variables en un determinado fenómeno. Un transductor es el dispositivo que transforma una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica.

Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son los calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), los termopares (temperaturas), los velocímetros (velocidad).[8]

De acuerdo al autor Roberto Ramírez en el año 2024, el define los sensores como lo siguiente.

Un sensor es un dispositivo que detecta y mide diferentes tipos de variables físicas o químicas, como la temperatura, la luz, la distancia, la presión, el sonido etc. Las transformaciones en señales eléctricas que pueden ser procesadas y analizadas por otro dispositivo. [9]

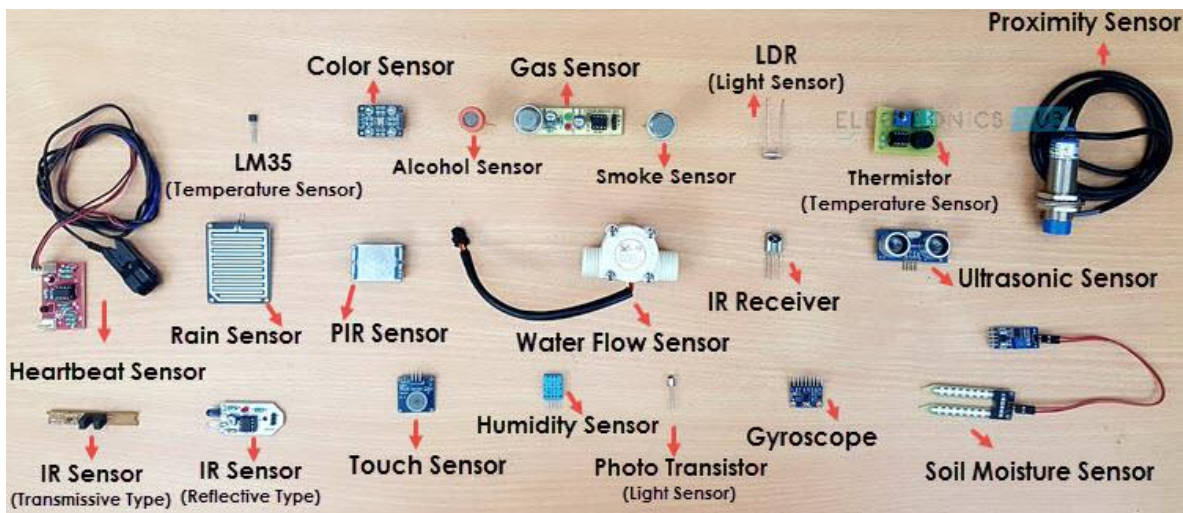


Figura 6 Diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado

Fuente: PrototipadoLAB

3.7 Modulo bluetooth HC05 – HC06

Por lo redactado según el autor Víctor Arrieta en el año 2018, podemos conocer sus diferencias y principales características.

Los módulos bluetooth HC-05 y HC-06 son elementos que te permitirán comunicar tu microcontrolador por protocolos bluetooth con cualquier otro elemento que cuente con el mismo protocolo, desde un celular hasta un portátil o incluso otro módulo bluetooth conectado a otro microcontrolador.

La principal diferencia entre estos dos módulos reside en que el HC-05 puede ser configurado para ser usado como dispositivo maestro o esclavo, mientras que el HC-06 sólo puede ser usado como esclavo. Ambos dispositivos pueden ser configurados para cambiar el nombre del dispositivo, cambiar su clave de apareamiento, el nombre por defecto es HC 05 (ó HC 06) y la clave por defecto es: 1234. Se debe mencionar que toda configuración a los dispositivos debe ser hecha por comandos AT y que ambos módulos pueden alimentarse con 5 o 3.3 V.

Una vez apareado el dispositivo con, por ejemplo, tu celular Android (a la fecha no hay una aplicación IOS compatible con estos módulos) podrás enviar comandos como letras o caracteres desde tu celular para controlar funciones en tu programa. Existen muchas aplicaciones en la Playstore de Google que pueden servirte para este fin, sólo basta con ingresar "Bluetooth Arduino" en el buscador y buscar la que necesites, algunas incluso son modificables de forma que puedes adaptar los botones en la aplicación de acuerdo a tu programa para tener un control totalmente personalizado.

Estos módulos se comunican con Arduino por medio del puerto serial, por lo tanto, para programar tu placa, el módulo debe estar desconectado en primera instancia. Luego, la comunicación por puerto serial nos facilita en gran manera obtener datos desde el módulo, ni necesitamos siquiera instalar librería alguna, sólo basta con verificar si hay datos entrando al Buffer del puerto serial, si los hay, es porque el módulo está recibiendo información, por lo cual leemos la información leyendo los datos en el Buffer.[10]



Figura 7 Módulos bluetooth hc-05 y hc-06

Fuente: Quora

3.8 Caudalímetro

Los caudalímetros electromagnéticos miden el caudal en función de la velocidad a la que pasa el fluido. El instrumento cuenta con dos bobinas que aplican un campo electromagnético perpendicular a la dirección del líquido por lo que, al pasar, produce una tensión eléctrica captada por unos electrodos. Esta tensión es proporcional a la velocidad y al caudal del líquido.

Este mecanismo hace que los caudalímetros electromagnéticos sean idóneos para aplicaciones de aguas residuales, o en general, para cualquier líquido sucio conductor de agua o a base de agua, aunque también trabajan sobre cualquier líquido conductor, ya sean ácidos, bases, lodos...

Muy diferente es el caso de los contadores de agua y algunos caudalímetros industriales que tienen el cabezal mecánico.

En este caso, la transmisión de la información entre el sensor y el cabezal se hace de forma mecánica mediante un eje o una transmisión mecánico-magnética.[11]



Figura 8 Caudalímetro de diámetro $\frac{3}{4}$

Fuente: Fabricante Barry Century

3.9 Radiación solar sobre el punto de captación

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima.

Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología, dentro de las cuales se destacan: su empleo como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad y en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructura, el monitoreo del

crecimiento de plantas, la deshidratación de alimentos, implicaciones en la salud (ej. cáncer de piel o tratamientos curativos), el análisis de la evaporación e irrigación, su importante rol en los modelos de calidad del aire y de predicción del tiempo y el clima y muchas otras aplicaciones y usos que emplean la radiación solar como una de sus fuentes de energía.

3.10 Orientación e inclinación de paneles

La finalidad es conseguir la cantidad máxima de radiación (Energía Solar)

Si estamos en el hemisferio Norte, orientaremos los paneles hacia el sur (donde está el sol) con una inclinación próxima a la latitud, para recibir los rayos lo más perpendicularmente [2]

Si orientamos en sentido contrario el panel voltaico no será funcional de igual manera si la inclinación es mayor o menor a la latitud del lugar, no se tendrán buenos resultados de funcionamiento del panel solar.

3.11 Panel solar.

Los paneles solares están formados por células de un material semiconductor, la mayoría de silicio, en el que los átomos tienen su última capa de 4 electrones. Estos se unen con otros átomos de alrededor formando grupos de 8 electrones y crean una red cristalina.



Figura 9 Panel solar

Fuente: APREAN

3.13 Funcionamiento de la célula solar

Este cristal es estable y no permite el paso de corriente, pero al añadirle una pequeña cantidad de Boro y Fosforo (que tienen 3 y 5 electrones), se crean dos zonas, en la que a una le falta y en otra le sobran electrones dentro de la red cristalina.

Al unir dos zonas se crea, en el centro, una unión de electrones-huecos (el hueco es la falta de electrón) que provocan un campo eléctrico permanente (la N pierde electrones y queda con carga positiva y la P al revés) y no permiten el paso de corriente.

La capa n es la que recibe los rayos solares. Los fotones rompen la unión electrón-hueco, el campo eléctrico los separa llevando los electrones a la capa n y los huecos a la capa. Si se pone un conductor externo fluye la corriente eléctrica de P a N [2]

3.12 Modulo fotovoltaico

Las células pueden utilizarse para juguetes, equipos didácticos, etc. Pero la mayoría de las veces se agrupan en un módulo o panel fotovoltaico.

El módulo está formado por células conectadas en serie. Muchos son de 36, que hacen una tensión aproximada de 18 a 21 voltios ($0.5 - 0.6\text{v} / \text{célula}$). También hay de 60 células etc.

Las células han de tener parámetros eléctricos muy similares si no acabamos teniendo los valores que de la célula con menos tensión (en paralelo) o corriente (en serie), y desaprovecharemos las otras.

El panel está formado por varias capas para recubrir las células contra agentes externos. Por ejemplo, el agua oxida los contactos eléctricos.

De forma general:

Cubierta exterior. Se suele utilizar vidrio templado (4 o 5mm) resistente a impactos y que trasmite la radiación solar. El cristal ha de ser liso en la parte exterior y no retener suciedad.

Capas encapsuladoras. Protegen las células y los contactos de interconexión los materiales han de tener buena trasmisión a los rayos solares.

Protección posterior

Para evitar la acción de los agentes atmosféricos. Normalmente se utilizan materiales como el TEDLAR*. Suelen ser de color blanco, ya que refleja la radiación incidente que traspasa las células. Actualmente, en fachadas de edificios, también de vidrio templado.

Contactos eléctricos: Se colocan en una o dos cajas de conexión de intemperie, con contactos de tornillo, conector, etc. En su interior va el diodo de protección Bypass para evitar los problemas con sombras.

Marco soporte: Da rigidez mecánica y permite la inserción en estructuras que agrupan más módulos. Suele ser de aluminio anodizado o acero inoxidable (para no deteriorarse).

Los marcos llevan taladros para su anclaje o un bastidor, evitando ser manipulados posteriormente (las vibraciones pueden romper el cristal). Si se van a instalar muchos módulos suelen llevar una conexión de toma de tierra.

3.13 Fabricación del módulo fotovoltaico

Puestas las capas de encapsuladoras se introducen en un horno para su laminación, donde se hace el vacío y se elimina cualquier bolsa de aire. La capa de encapsular se funde rodeado a las células y contactos, haciendo también de adhesivo con el cristal y la capa posterior creando un conjunto estanco.

Después se pone el marco soporte con goma de butílica o silicona, para permitir las dilataciones del conjunto por efecto del calor. Solo queda poner los bornes de conexión y realizar las pruebas finales del módulo.

3.14 Diodos de protección

Las placas solares pueden llevar dos tipos de diodos.

- a) Diodo de bloqueo (fuera del panel). se coloca uno en cada fila de módulos. Impide que la corriente vaya de la batería hacia los paneles cuando no hay radiación solar; también que una fila de módulos se descargue en otra por una avería.
- b) Diodo Bypass. Si una parte del panel tiene sombra deja de generar corriente y se convierte en carga, consume en forma de calor la corriente que llega de las otras células. Se conoce como Hot-Spot o Punto caliente. Se pueden llegar a incendiar los materiales (sobre todo en paneles de 24v o más)

Para evitarlo se ponen diodos en inversa en la caja de conexiones. La parte sombreada, al convertirse en carga, cambia su polaridad y cuando el diodo detecta este cambio hace que la corriente pase por el en lugar de por las células [2].

3.15 Tipos de conectores para paneles

Existen varios tipos de conectores, como los Tyco, los MC3 o los MC4, siendo los más comunes los MC4. Estos resultan más sencillos a la hora del montaje, además de ser más fácil el conexionado y ser más seguros para los módulos. Por ello, son los más estandarizados y los que más usan los fabricantes, de modo que hay una gran compatibilidad. Por ello, se recomienda el uso de estos conectores para lograr una buena conexión del panel fotovoltaico.[12]

La diferencia entre usar conectores de paneles o regletas simples es muy importante, ya que los conectores garantizan la estanqueidad de la conexión, especialmente contando con las consecuencias del paso del tiempo, y los efectos que producen el sol, el viento o el agua en elementos como cinta aislante. Así, el conector permite que la instalación cumpla su función sin problemas, evitando que sean necesarias reparaciones.[13]

Para instalar este tipo de conectores se necesitan una crimpadora para cables, que se puede encontrar en todas las ferreterías. Estos conectores permiten que se puedan construir fácilmente paneles o cadenas empujando los conectores de los paneles adyacentes al que queremos conectar simplemente con la mano. En el caso de desconexión, a través de una llave inglesa para conector MC4 se puede desconectar. Así, se evita que los paneles no se desconecten por accidente cuando se tira de los cables.

El juego de conectores de paneles fotovoltaicos MC4 constan de una pareja de conectores que encajan con los que vienen incluidos en cada módulo.



[12]

Figura 10 Partes de un conector mc4

Fuente: CCEEA

3.16 Tipos de paneles

En el mercado internacional y nacional se encuentran diferentes tipos de paneles que se caracterizan principalmente por su método de fabricación, color y precio a continuación se habla sobre los tres tipos de paneles más comerciales.

3.16.1 Paneles solares monocristalinos

A nivel físico, reconocerás estos paneles porque presentan un color de un azul más oscuro e incluso negro o gris oscuro uniforme. Si se observan las láminas estas presentan bordes redondeados. El principal componente de estos paneles es el silicio monocristalino. En este tipo de paneles, el silicio monocristalino se genera en bloque y se corta en láminas finas, que luego pasarán a ser la célula fotovoltaica del panel solar. Durante su fabricación, se les da tiempo para enfriar a las células monocristalinas, de forma lenta y sin apurar el proceso. Gracias a la alta pureza de sus cristales, este tipo de paneles presentan un mayor rendimiento, en comparación con los paneles policristalinos, así como un precio más elevado.

3.16.2 Paneles solares policristalinos

A nivel físico, percibirás que tienen un azul más claro. Se fabrican de forma diferente a la de los paneles monocristalinos: tras fundirse el silicio en bruto, este se vierte en un molde. Una vez se enfría y se endurece el silicio derretido, se cristaliza y se va cortando en láminas perfectamente cuadradas. De esta forma, la cantidad de material desperdiciado es menor y los costos de fabricación más económicos.

3.16.3 Paneles solares amorfos

Los paneles fotovoltaicos de silicio amorfo se refieren a las células solares que cuentan con una organización atómica bastante irregular, razón por la cual una capa de este material suele absorber más luz que una de silicio monocristalino.

El proceso de fabricación de cada célula de este tipo produce un resultado de placas con un grosor hasta unas 50 veces menor que las de otro tipo, por lo que se logra un ahorro importante en la materia prima. Además, captan más radiación y suelen tener un nivel de resistencia considerable en los climas cálidos.

Este tipo de célula cuenta con un cristal especial que la protege y favorece la máxima entrada de luz, aun en los lugares en los que no existe una radiación solar muy fuerte. Su eficiencia es menor que la de otras placas, por lo que sus aplicaciones dependen directamente de la necesidad de consumo eléctrico del recinto en el que se instalan. [3]

3.17 Parámetros eléctricos.

Intensidad de cortocircuito (I_{cc} o I_{sc}): es aquella que se produce a tensión 0 voltios, por lo que puede ser medida directamente en bornes mediante un amperímetro. Su valor variará en función de las condiciones atmosféricas de medida.

Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}): es la tensión máxima del panel, se puede medir al no tener ninguna carga conectada, directamente con un voltímetro, su valor variará en función de las condiciones atmosféricas.

Potencia máxima (P_{max}), medida en vatios pico (W_p): es la potencia máxima que puede suministrar el panel, es el punto donde el producto intensidad y tensión es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.

Este valor de potencia máxima y voltaje máximo solo se obtendrá en condiciones ideales, y se encuentra el valor en una etiqueta en la parte inferior del panel.

Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}): es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.

Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}): es la tensión producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.

Eficiencia (%): este parámetro nos define la eficiencia de conversión (η), la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica.

$$\text{Rendimiento o eficiencia} = W_p / W_r$$

Donde W_r es la potencia de radiación incidente sobre el panel solar.

Tolerancia (%): en el proceso de fabricación no todos los paneles solares son idénticos, presentan una pequeña dispersión. En general los fabricantes garantizan que la potencia del módulo P^* está dentro de una banda; 63%, 65, 0+3%.

También lo ideal es buscar paneles con tolerancias sólo positivas, así el fabricante nos garantiza cómo mínimo la potencia del panel declarada en la ficha de características.

TONC ($^{\circ}\text{C}$), temperatura nominal de operación de la célula: es la temperatura que alcanzan las células cuando se le somete a una irradiancia de $800\text{W}/\text{m}^2$, temperatura ambiente de 20°C , una velocidad del viento de $1\text{m}/\text{s}$ y una distribución espectral AM 1,5. [14]

Para los parámetros STC (standar test condition) sirve entre otras cosas, para poder establecer una comparación de los parámetros eléctricos en condiciones similares. Sin embargo, estas condiciones no son las más habituales, ya aunque la irradiancia de $1000\text{W}/\text{m}^2$ podemos obtenerla en algunos días del año, en algunas ubicaciones y a horas de máxima radiación, no se darán nunca con temperaturas de la célula de 25°C . De ahí, que cuando hablamos de un panel de 410Wp , debemos tener claro que esa potencia posiblemente no se obtenga nunca de ese panel, y si se obtiene, sea de manera muy puntual.[15]

3.18 Perdidas de radiación

El emplazamiento de los captadores solares debe estar libre de las sombras proyectadas de obstáculos alejados (como una montaña, un edificio o un gran árbol), y obstáculos próximos (como una chimenea, un alero del tejado o la vegetación estacional). Los instaladores experimentados pueden situar el mejor emplazamiento, pero en algunos casos, es mejor evaluar el potencial real con un estudio sobre uno diagrama solar, ya que la posición aparente del sol varía muchos durante el día y según las estaciones.

El diagrama solar para una latitud dada, permite imaginar el acimut y la altura del sol durante las horas del día y según las estaciones.

La superposición de las sombras a la trayectoria del sol sobre el diagrama permite imaginar los períodos en que se llevará a sombras sobre el cuadrante.

3.18 Distancia mínima entre filas de paneles.

La distancia d entre filas de módulos, de altura h , que puedan producir sombras han de garantizar que no lo harán en un mínimo de 4 horas de Sol en entorno al mediodía del solsticio de invierno (época de sombras mayores).

3.20 Diseño de una instalación autónoma

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo [4].

3.21 Principios de Solarimetría.

El sol, la fuente de energía más grande del mundo, se sabe que la constante solar es:

$$G_0 = 1,367 \pm 2 \text{ W/m}^2$$

Debido a la elipse sol-tierra, la irradiación fluctúa un poco a través del año: a través del año: $G = 1.325$ hasta 1.420 W/m^2 .

En los últimos años, la constante solar mundial ha sido las más altas en la historia, se sabe también que el año 2015 fue el más caluroso de la historia en todo el mundo.

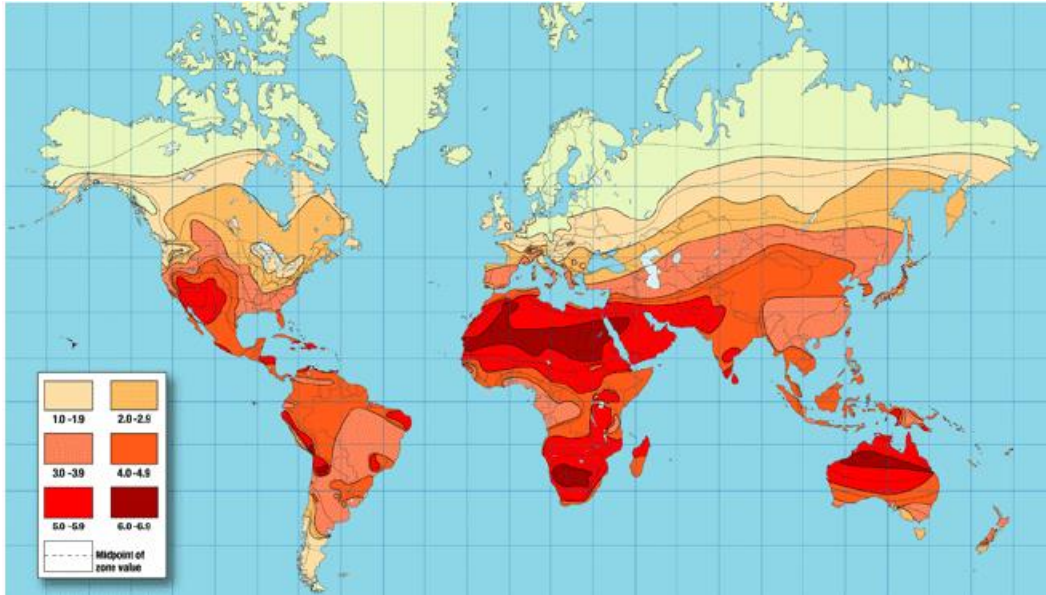


Figura 11 Irradiación solar global

Fuente: Artículo Compensación de sobretensiones en redes eléctricas con generadores fotovoltaicos

3.22 Horas solares pico.

Podríamos definirla como una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiación solar constante de 1.000 W/m².

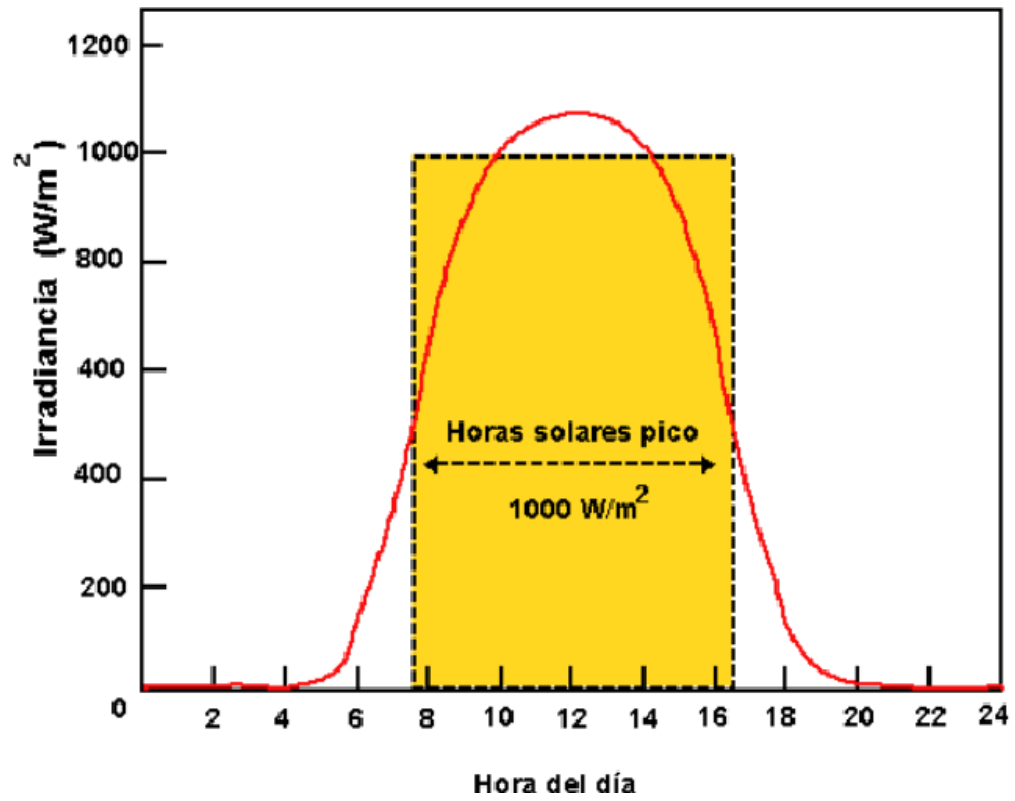


Figura 12 Hora del día y radiación

Fuente: Semantic

Las horas solares pico de México están marcadas en el siguiente mapa.

SOLAR RESOURCE MAP

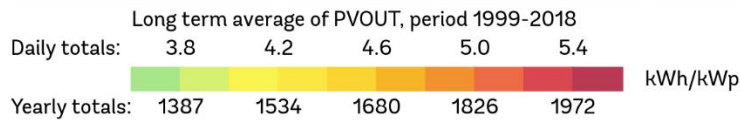
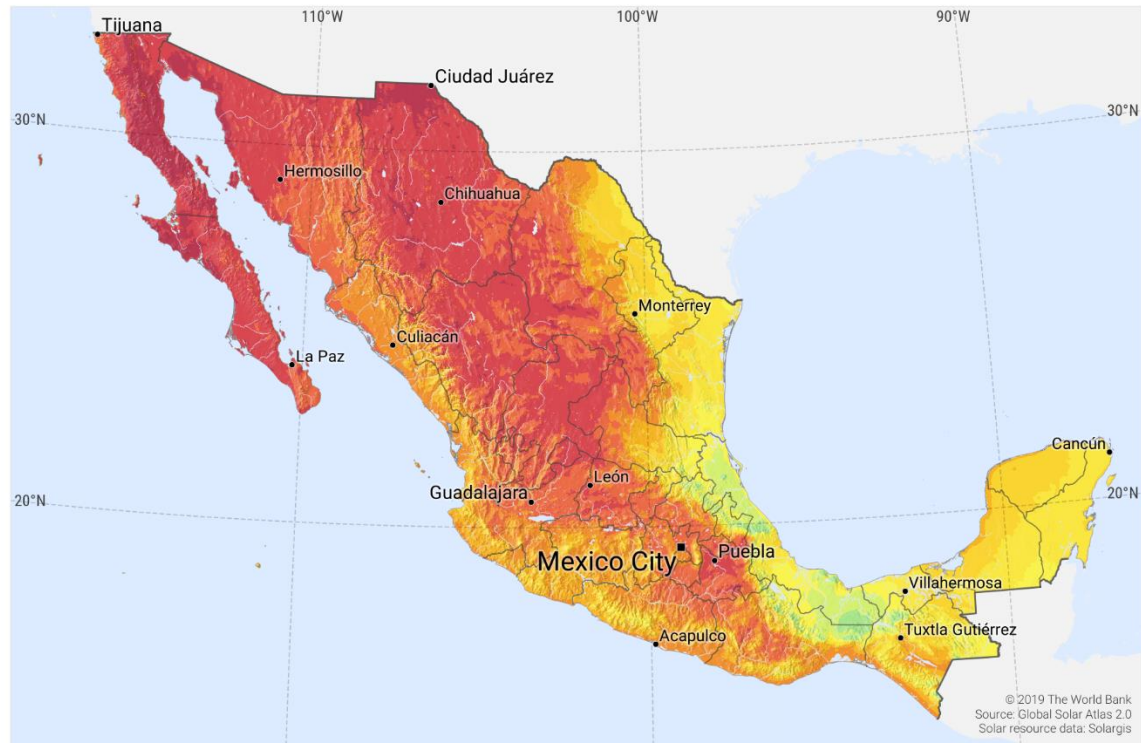
PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL

MEXICO



ESMAP

SOLARGIS



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Figura 13 Horas solares pico en México

Fuente: World Bank Group

Las horas solares pico son importantes para conocer cuál es máximo de horas que se tiene una radiación solar eficiente, este dato también es importante para el diseño fotovoltaico

3.23 Componentes principales de un sistema fotovoltaico autónomo.

El Sistema fotovoltaico autónomo, produce energía eléctrica directamente de la radiación solar. La función básica de convertir la radiación solar en electricidad la realiza el módulo fotovoltaico. La corriente producida por el módulo fotovoltaico es corriente continua a un voltaje que generalmente es de 12V (Voltios), dependiendo de la configuración del sistema puede ser de 24V ó 48V.[16]

La energía eléctrica producida se almacena en baterías, para que pueda ser utilizada en cualquier momento, y no sólo cuando está disponible la radiación solar. Esta acumulación de energía debe estar dimensionada de forma que el sistema siga funcionando incluso en periodos largos de mal tiempo y cuando la radiación solar sea baja (por ejemplo, cuando sea un día nublado). De esta forma se asegura un suministro prácticamente continuo de energía.

El regulador de carga es el componente responsable de controlar el buen funcionamiento del sistema evitando la sobrecarga y descarga de la batería, proporcionando alarmas visuales en caso de fallas del sistema. Así se asegura el uso eficiente y se prolonga su vida útil.

El Sistema Fotovoltaico Domiciliario (SFD) permite la alimentación autónoma de equipos de iluminación, refrigeradores de bajo consumo, radio, televisor. Garantizando un servicio de energía eléctrica permanente, de larga vida útil y con el mínimo mantenimiento. Este sistema está conformado básicamente de un módulo fotovoltaico (generador fotovoltaico), una batería (sistema de acumulación), un regulador de carga (equipo de control) y las cargas en corriente continua (luminarias, Televisor etc.). A estos elementos hay que añadir los materiales auxiliares de infraestructura (cables, estructuras soporte, etc.).

3.24 Baterías.

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando

se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

1. Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.
2. Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar tanto con lámparas o bombillas, así como un televisor o radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.
3. Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuado para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que puede producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.[14]

En su apariencia externa este tipo de baterías no difiere mucho de las utilizadas en automóviles. Sin embargo, internamente las baterías para aplicaciones fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son:

- a) La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente,
- b) los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

Así, el ahorro en costos que puede tener comprar baterías de automóviles (en lugar de baterías fotovoltaicas) se pierde ante la necesidad de reemplazarlas frecuentemente.

Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga. Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida



de capacidad de todo el conjunto de baterías. También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo. Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

Después que las baterías hayan alcanzado su vida útil, deberán ser retiradas y llevadas a centros de reciclaje autorizados (en el caso de algunos proveedores con la venta de la batería se responsabilizan también del retiro y reciclaje). Por ningún motivo deben desecharse en campos abiertos o basureros, pues el derrame de la solución de ácido sulfúrico que contienen ocasiona graves daños al suelo, personas y animales. Finalmente, es importante mantener alejados a los niños de las baterías para evitar cortocircuitos o quemaduras de ácido accidentales.

Al igual de lo que sucede con los módulos fotovoltaicos, se recomienda la ayuda de un conocedor del tema para que sugiera el tipo de batería que más conviene a una instalación fotovoltaica particular. En términos generales, se debe adquirir baterías fotovoltaicas de calidad, que cumplan al menos las especificaciones mínimas.

A continuación, se muestra una tabla con los componentes básicos de un sistema fotovoltaico autónomo.

Tabla 1 Componentes de un sistema autónomo y sus imágenes

Nombre del componente	Imagen del componente
Panel solar	
Batería fotovoltaica	

<p>Controlador de carga</p>	
<p>Cable fotovoltaico</p>	
<p>Estructura para panel</p>	



Fuente: Elaboración propia

3.25 Conexión de baterías en serie

La conexión de las baterías en serie provee el doble de la tensión y mantienen el mismo valor de amperios-hora.

- Baterías de 6 voltios conectadas en serie para formar 12 voltios y 220 amperios

3.26 Carga eléctrica estimada.

Con el fin de delimitar el proyecto se estimó la carga demanda de las viviendas que se plantea electrifica, sin embargo, esto datos pueden variar con base a las necesidades de los usuarios.

Aparato eléctrico	Energía que consume (W)	Cantidad	Carga total (W)	Horas de uso	Carga o energía utilizada durante el día (Wh)
Foco	6	4	24	5	120
Radio	60	1	60	1	60
Licuada	450	1	450	10/60	75
TV	85	1	85	1	85
Total		619 W		340 Wh	

3.27 Cálculo de número de Paneles fotovoltaicos.

Aplicando una suma del 20% por perdidas del sistema y de que el lugar donde pretendemos instalar los paneles no se llevó a cabo la medición de insolación exacta, si no que utilizamos datos de radiación solar del estado, tenemos una demanda de:

$$340\text{Wh} * 1.20 = 408 \text{ Wh}$$

Teniendo la demanda y la insolación mínima anual calculamos los watts pico que se necesitan para satisfacer la demanda, y en base a esto poder determinar el número de paneles de acuerdo a las horas pico que generan:

$$\frac{\text{Demanda}}{\text{Horas min}} = Wp$$

$$\frac{408 \text{ Wh}}{4.53 \text{ h}} = 90.07 \text{ Wp}$$

[17]

3.28 Cálculo de banco de baterías.

El tercer paso será calcular el banco de baterías, lo cual permitirá tener energía en la noche y días de poca radiación solar. Para esto utilizaremos 3 datos fundamentales; el consumo energético real, el voltaje de las baterías que vamos a utilizar (en este caso de 12V) y los días de autonomía que pretendemos dar a la instalación eléctrica (dependiendo de la importancia y condiciones del lugar).[17]

- Consumo energético; 408 Wh
- Voltaje del sistema; 12V
- Días de autonomía; 1
- 50% de descarga profunda

$$\frac{\text{Consumo} * \text{dia autonomia}}{\text{Voltaje del sistema \% descagra}} = \text{Ah}$$

$$\frac{408 \text{ Wh} * 1}{12 \text{ V} * .5} = 68 \text{ A}$$

$$\frac{68 \text{ Ah}}{115 \text{ Ah}} = .58 \approx 1$$

Ahora vamos a seleccionar la cantidad de baterías, para esto dividimos los Ah que obtuvimos anteriormente entre los 115 Ah de la batería de 12 volts que es la más la común.

Concluimos que se va a seleccionar 1 baterías de 115 Ah

3.29 Cálculo del regulador de carga.

El cuarto paso será la selección del regulador de carga, cuya función es proteger las baterías de una sobrecarga. Los criterios de selección son;

- Tensiones de baterías compatibles (12V)
- Corriente máxima de paneles (Para este ejemplo la corriente de corto circuito del panel de 110 watts es 4.22) Ver ficha técnica o panel solar.

$$4.22 A * 1 = 4.22 A$$

Seleccionamos el controlador de 10 Amp.[17]

3.30 Cálculo de conductor y protección.

Una vez seleccionado los paneles fotovoltaicos que utilizaremos en nuestro sistema, podremos determinar el calibre del conductor que se utilizara, para esto es necesario saber la corriente de corto circuito "Isc" en este caso de 4.22A,

Así pues, tendremos que la corriente que tiene que soportar nuestro conductor será;

$$I = (I_{sc} \times 1) \times 1.25 \times 1.25$$

$$I = (1 \times 4.22A) \times 1.25 \times 1.25 = 6.6 A$$

De acuerdo a la tabla 310-15(b) (16) de la Norma Oficial Mexicana tendremos que seleccionar un conductor THW calibre 14

Para la utilización de este calibre de conductor se recomienda que los módulos fotovoltaicos no se encuentren a una distancia mayor a 2.5m del regulador, baterías e inversor, para evitar una caída de tensión no mayor al 3%, en caso de que se requiera instalar los módulos fotovoltaicos a una mayor distancia se recomienda replantear el calibre del conductor, para evitar una mayor caída de tensión pues la resistencia del cable aumenta..

Cálculo de la caída de tensión: 0.03 x Voltaje de operación [17]

4. Planteamiento del problema

Los escasos de agua a nivel mundial es un problema que según datos de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) para el año 2050 se duplicara, para el caso particular de México la reducción y variación de las precipitaciones hacen que este problema se agrave, de acuerdo con el CONAGUA (Comisión Nacional del agua) en Junio de 2023 a nivel nacional llovió 61% menos en relación con el promedio del mismo mes de 1991 a 2020, lo cual por su parte genera la disminución de agua en presas y ríos, además de que los mantos acuíferos que se utilizan para la extracción de agua no se recargan correctamente.

Por otro lado, aunque en México el 93% de las viviendas cuentan con acceso a agua entubada, esto no garantiza el servicio diario, de acuerdo a ENIGH (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares) El 33% de las viviendas no tienen suministro diario de agua que es aproximadamente un tercio de las viviendas que cuentan con este servicio.

Es importante mencionar que el desperdicio de agua a nivel doméstico, industrial y agrícola también es un factor importante, pues se sobre explotan las presas ríos y mantos acuíferos.

Por otro lado, la demanda energética mundial y nacional es exponencial y según datos de AIE (Agencia Internacional de Energía) las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía se dispararon a niveles récord en el año 2021, mientras que la inversión en proyectos que implementen tecnologías de energía limpia se mantiene muy por debajo de lo necesario para reducir las emisiones de CO₂.

Para el caso particular de México el “36.7 % de los mexicanos viven en pobreza energética, esto indica que no tienen suficiente energía para mejorar en su vida o no tienen energía en absoluto, esto representa un gran reto porque no solo se trata de garantizar la energía a quienes hoy la tienen, si no de darla a quienes carecen de ella” lo anterior fue publicado en la revista IMEF el 27 de mayo del año 2024.

Y aunque en los últimos 6 años la generación de energía eléctrica en México, creció un 10.3%, entre el 2021 y el 2022 la generación de energía limpia en el país se redujo en un – 1.8% según el informe del IMCO (Instituto Mexicano de la competitividad)

Este prototipo abarca los objetivos de desarrollo sostenible 6,7,11,13 de la agenda 2030, además de abarcar dos problemáticas mundiales y nacionales que año con año crecen exponencialmente como la escases de agua incluyendo la mala administración de este líquido y la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo, el cual utilizara el prototipo para generar su propia energía eléctrica para su funcionamiento óptimo, este último contribuyendo a la generación de energía limpia y haciéndolo un prototipo sustentable energéticamente hablando.

Loa objetivos de desarrollo sostenible a los que contribuye este prototipo son los siguientes:

Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento

Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante

Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Objetivo 13: Acción por el clima

5. Hipótesis

Existe la posibilidad de diseñar y construir un prototipo de distribución de agua utilizando un sistema fotovoltaico autónomo. Se puede distribuir el agua eficientemente y de manera equitativa además de no utilizar combustibles fósiles para su funcionamiento.

6. Objetivos

General

Diseñar y construir un sistema automatizado que sea capaz de distribuir agua por medio de 4 electroválvulas, utilizando un sistema fotovoltaico autónomo.

Específicos.

- I. Seleccionar los materiales adecuados para una durabilidad a las condiciones climáticas
- II. Diseñar la etapa de control por de Arduino uno
- III. Diseñar la etapa de potencia por medio de módulos MOSFET
- IV. Diseñar la aplicación para el control bluetooth por medio de MIT App Inventor
- V. Construir el prototipo
- VI. Validar el funcionamiento del sistema bajo circunstancias de operación normal

7. Metodología

Dentro de la metodología de la realización del proyecto y prototipo, se consideraron los siguientes puntos generales del siguiente diagrama.

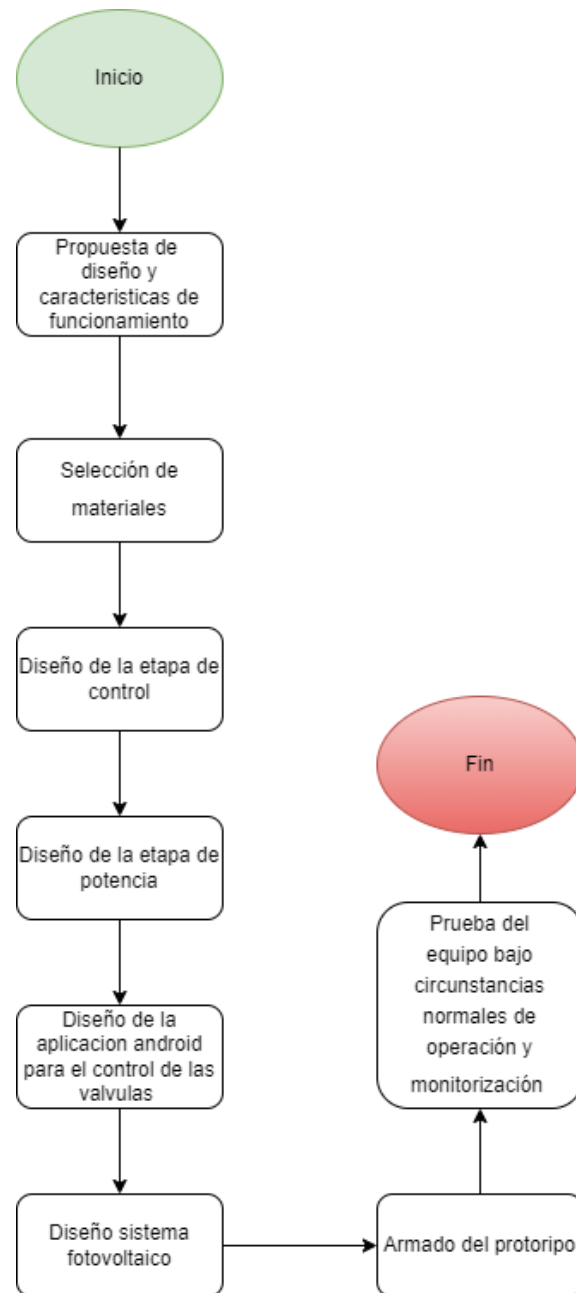


Figura 14 Etapas generales de la metodología

Fuente: Elaboración propia

7.1 Propuesta de diseño y características de funcionamiento

El equipo de distribución de agua cuenta con 4 electroválvulas, las cuales deben de ser controladas por un Arduino uno y en la etapa de potencia mosfets D4184, la propuesta es que cada casa tenga una electroválvula asignada, la distribución de agua se podrá aplicar por 3 modos diferentes de distribución, el más sencillo de ellos el modo automático el cual consta en abrir la primera electroválvula un tiempo determinado para este caso 2 horas y posteriormente se cierra la primera electroválvula y se abre la segunda, de este modo hasta terminar el ciclo de 4 electroválvulas al día. El siguiente modo es el modo bluetooth el cual mediante una aplicación Android se pueden controlar las electroválvulas con un rango de accionamiento mínimo de 30 metros, el ultimo modo es el modo denominado por flujo este modo es considerado el más importante dentro del programa pues de acuerdo con el número de habitantes se asignarán 200 litros diarios, por ejemplo, si en la casa 2 donde se asigna la electroválvula 2 hay un total de 6 habitantes, se asignarán 1200 litros diarios de agua.

Las características del prototipo deben de ser las siguientes:



Figura 15 Características principales del prototipo

Fuente: Elaboración propia

El diseño debe de ser integral lo que quiere decir que en un mismo prototipo se deben de encontrar la etapa de control, la etapa de potencia, electroválvulas y por último el sistema fotostático autónomo.

Todos los equipos deben de estar cubiertos de la intemperie y los materiales deben garantizar la durabilidad del equipo.

Fiabilidad de operación, el equipo debe de trabajar continuamente sin interrupciones ni errores aun en ausencia de radiación solar, los tiempos de apertura de cada electroválvula deben de ser precisos, en la parte de la asignación por flujo los litros no deben de tener un error mayor al 5%

Interfaz fácil de utilizar, debe de ser una interfaz intuitiva que debe de contar con selección de modos los cuales deben de ser visuales en una pantalla, debe contar con un botón de reset/stop, en la parte de asignación de flujo deberán de aparecer los litros por minuto y los litros totales, además deberá contar con indicadores para saber si tiene energía el prototipo y cada electroválvula deberá tener un led que indique si está abierta deberá de encender el led y si está cerrada el led deberá estar apagado.

Debe de ser construido con componentes fáciles de encontrar en el mercado, esto con la finalidad de que sea sencillo poder reemplazarlo en caso de daño de los componentes o mal funcionamiento de estos, por otro lado, deben de ser componentes de calidad.

Fácil remplazo de los componentes, al tratar de remplazar algún componente debe de ser un paso sencillo pues estos deben de estar ensamblados de tal manera que el usuario pueda cambiarlos con los mínimos conocimientos de operación, y reducir tiempos de mantenimiento correctivo, esto es con el fin de que la distribución del vital líquido sea siempre constante, y evitar que el equipo deje de funcionar por horas o días.

El equipo debe de contar con diagramas eléctricos de sus conexiones.

7.2 Diseño de la etapa de control

La etapa de control es una de las partes fundamentales dentro del prototipo, pues esta se encargará de accionar el modo seleccionado y además interpretará los datos de los sensores para hacer acciones. Para la etapa de control se utilizó el ya conocido Arduino Uno, pues por su bajo costo en el mercado y sus grandes prestaciones, es el indicado para realizar este prototipo.

Tabla 2. Asignación de pines Arduino

Asignación de pines del Arduino		
Componente	Numero de PIN / Nombre de PIN	Conexión
Electroválvula 1	8	PIN mosfet 1 + IN
Electroválvula 2	9	PIN mosfet 2 + IN
Electroválvula 3	10	PIN mosfet 3 + IN
Electroválvula 4	11	PIN mosfet 4 + IN
Cable Alimentación	Jack 3.5 mm	Botón encendido
Botón Restet/Stop	Reset	Botón Reset
Display con I2c	Gnd Arduino	Gnd
Display con I2c	5v Arduino	Vcc
Display con I2c	A4	SDA
Display con I2c	A5	VCL
Encorder Rotativo	Gnd Arduino	Gnd
Encorder Rotativo	5v Arduino	+ Encorder

Encorder Rotativo	4	SW
Encorder Rotativo	6	DT
Encorder Rotativo	7	CLK
Caudalímetro	2	Cable amarillo
Caudalímetro	5v Arduino	Cable rojo
Caudalímetro	Gnd	Cable negro
Bluetooth	5v Arduino	Vcc
Bluetooth	Gnd Arduino	Gnd
Bluetooth	0	TXD
Bluetooth	1	RXD
Led azul	3.3 V Arduino	Ánodo Led azul
Led amarillo 1	8	Ánodo Led Amarillo 1
Led amarillo 2	9	Ánodo Led Amarillo 2
Led amarillo 3	10	Ánodo Led Amarillo 3
Led amarillo 4	11	Ánodo Led Amarillo 4

Fuente: Elaboración propia

El equipo cuenta con un botón balancín de encendido y apagado el cual permite desconectar la energía eléctrica de toda la etapa de control y de potencia este va conectado al Jack 3.5 mm con el que cuenta el Arduino UNO.

La alimentación que recibe el Arduino uno viene del controlador de carga del sistema fotovoltaico, posteriormente pasa por un regulador LM 7812 el cual se

describirá más adelante en la parte de diseño de etapa de potencia y también el circuito que se utilizó para armar este regulador.

Se conecto a este Jack para evitar el sobrecalentamiento de la placa, otras maneras posibles de alimentarlo es mediante el puerto USB-A y el pin VIN, sin embargo, estos pines limitan la corriente del Arduino además de las posibilidades de dañar la placa.

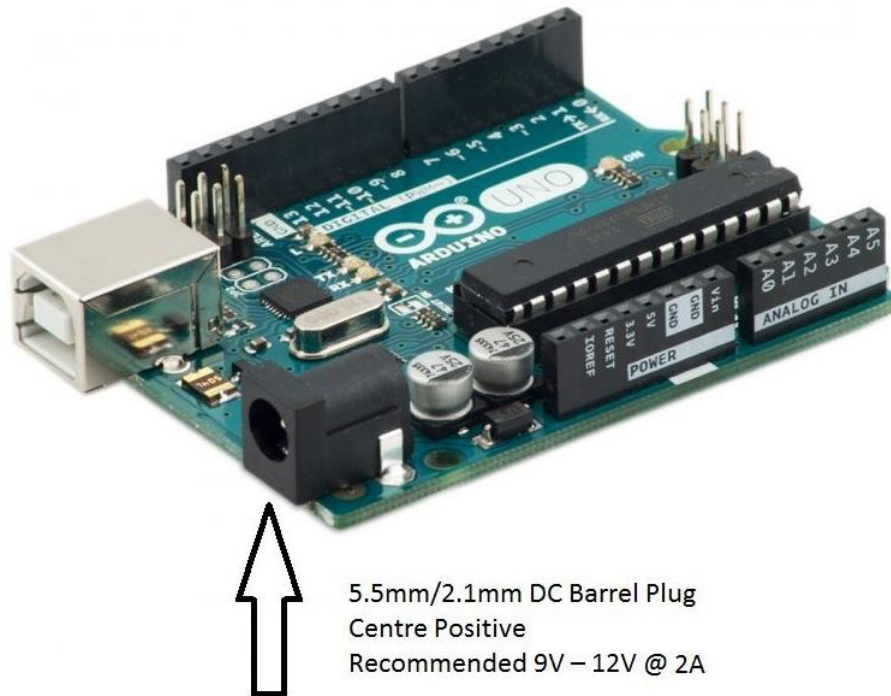


Figura 16 Jack 3.5 mm Arduino UNO

Fuente: The pitHut

También cuenta con un botón reset/stop, para esto se utilizó un botón pulsador normalmente abierto, el cual permite cancelar un modo en caso de que ya no se quiera utilizar, y también permite resetear el Arduino uno por si el usuario detectara un error de funcionamiento, este botón se conectó una borne tierra y el otro borne al pin RESET del Arduino UNO.

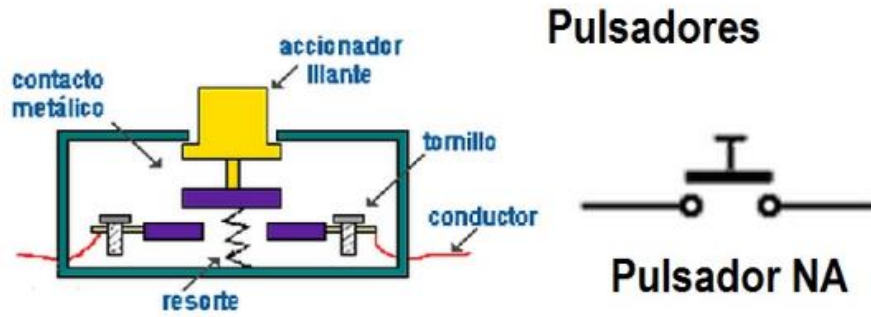


Figura 17 Partes del botón pulsador

Fuente: Tecnoloxia.ORG

Se implementó un display de 16x2 con la interfaz 2IC, su función de este es hacer una interfaz sencilla, la pantalla deberá imprimir las siguientes letras.

- a) Automático
- b) Bluetooth
- c) Por flujo
- d) ON
- e) Regresar a menú
- f) Flujo: -- L/minuto
- g) VoltT: -- L

Este display se utilizó con la interfaz I2C la cual permite utilizar el display con solo 4 pines, dos de ellos para la alimentación positivo y negativo, los otros dos SDA y VCL conectados al pin A4 y A5 del Arduino, los cuales sirven de conexión entre el Arduino y el display.

A continuación, se muestra la interfaz I2C que se utilizó en la etapa de control.



Figura 18 Interfaz I2C

Fuente: THIDO Electrónica

Para la navegación dentro del menú se utilizó un encorder rotativo modelo KY-040, el cual permitirá desplazarse en el menú y seleccionar el modo de trabajo, este permite girar a la derecha para desplazarse a la parte inferior y la izquierda para desplazarse a la parte superior, al pulsar enter del encorder podrás seleccionar el modo de funcionamiento.

**PINOUT
Sensor Encoder Rotativo
KY-040**

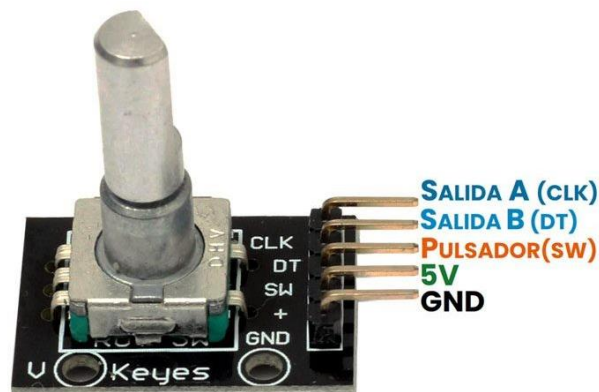


Figura 19 Pines de sensor encorder rotativo KY-040

Fuente: Aelectronics

El primero modo denominado automático fue el más sencillo de realizar y por ende cuenta con menos funciones, el fundamento principal de trabajo es asignar un tiempo de apertura para cada electroválvula en este caso en particular, cada electroválvula se abrirá un tiempo de 2 horas, el IDE de Arduino interpreta el tiempo en milisegundos lo que equivale a **7200000** milisegundos.

Este programa se repetirá cada 16 horas para tener los siguientes tiempos de trabajo:

Tabla 3 Horas Asignadas de trabajo para cada electroválvula

Horas asignaras para cada electroválvula		
Numero de electroválvula	Hora de apertura	Hora de cierre
Electroválvula 1	7 am	9 am
Electroválvula 2	9 am	11 am
Electroválvula 3	11 am	1 pm
Electroválvula 4	1 pm	3 pm

Fuente: Elaboración propia

Esta es la configuración de horas que se utilizó para cada electroválvula, sin embargo, no es la única configuración que se puede realizar, también se pudiera diseñar el programa para que todas las electroválvulas abran y cierren al mismo tiempo y poder repetirse el ciclo dos veces al día una hora por la mañana y otra hora para la tarde. En este caso no se implementará este modo pues se pretende que no se baje el flujo de agua, por este motivo se asignaron tiempos para cada electroválvula.

A continuación, en la Figura 20 se muestra el proceso del modo automático:

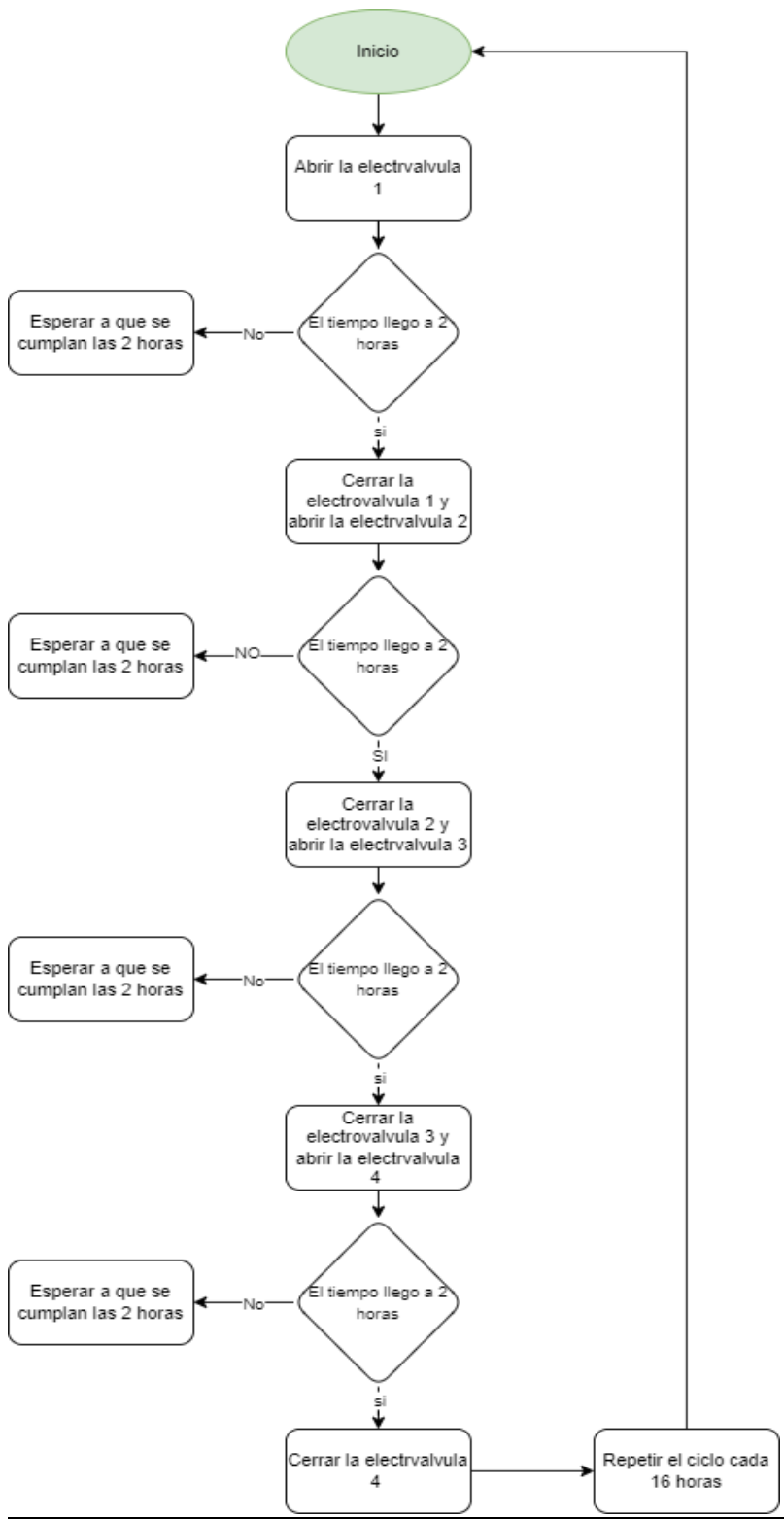


Figura 20 Diagrama de flujo modo automático

Fuente: Elaboración propia

El sistema Bluetooth se utilizó el módulo HC-05, el cual se enlaza al Arduino mediante un código y aplicación Android que veremos a detalle en el apartado de Diseño de aplicación Android para el control de las válvulas, esta aplicación da la posibilidad de abrir cada electroválvula y cerrarla a voluntad del usuario. A cada válvula se le asignó una letra de apertura y de cierre, esta letra será enviada desde la aplicación y será interpretada por el Arduino.

Tabla 4 Asignación de letras para el control Bluetooth

Asignación de letras para etapa de control Bluetooth		
Numero de válvula	Función	Letra asignada
Válvula 1	Abierto	a
Válvula 1	Cerrado	b
Válvula 2	Abierto	c
Válvula 2	Cerrado	d
Válvula 3	Abierto	e
Válvula 3	Cerrado	f
Válvula 4	Abierto	g
Válvula 4	Cerrado	h

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo del sistema Bluetooth.

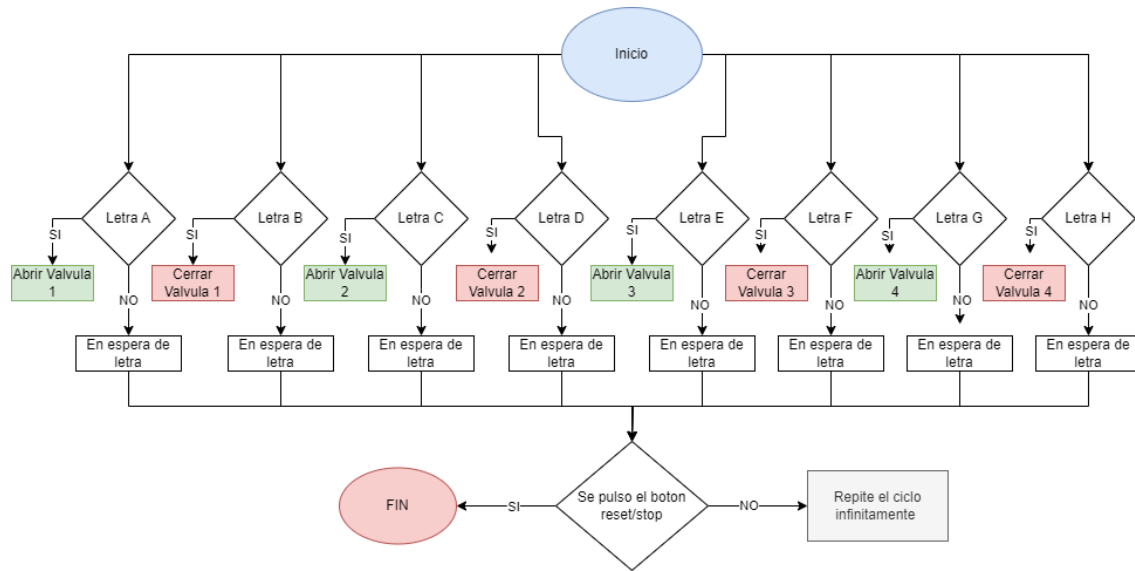


Figura 21 Diagrama de flujo sistema bluetooth

Fuente: Elaboración propia

El Arduino se pasará constantemente en un ciclo de lectura de estos caracteres, si no se pulsa el botón de reset/stop el ciclo continuara infinitamente, Si en la aplicación presionamos válvula 1 ON, la aplicación enviara una letra A que será leída por el Arduino UNO, entonces como la condición se cumple se abrirá la electroválvula 1 y continuara abierta hasta que el Arduino UNO reciba una letra B, en ese instante la electroválvula 1 se cerrara.

Este funcionamiento es para todas las electroválvulas del sistema con sus letras asignadas en la tabla.

Para realizar lo anterior se utilizaron condicionales en Arduino, a continuación, se muestra un ejemplo de las condiciones para la electroválvula 1.

```
if (estadob == 'a') {  
  
    digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
}
```

```
if (estadob == 'b') {
```

```
digitalWrite(Valvula1, LOW);
```

Esto se repite para todas las electroválvulas del sistema y todas las letras de la siguiente manera.

```
while (conditionW) {
```

```
    if (Serial.available() > 0)
```

```
    }
```

```
        digitalWrite(Valvula1, HIGH);
```

```
    }
```

```
    if (estadob == 'b') {
```

```
        digitalWrite(Valvula1, LOW);
```

```
    }
```

```
    if (estadob == 'c') {
```

```
        digitalWrite(Valvula2, HIGH);
```

```
    }
```

```
    if (estadob == 'd') {
```

```
        digitalWrite(Valvula2, LOW);
```

```
    }
```



```
if (estadob == 'e')  
    digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
}
```

```
if (estadob == 'f') {  
    digitalWrite(Valvula3, LOW);  
}
```

```
if (estadob == 'g') {  
    digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
}
```

```
if (estadob == 'h') {  
    digitalWrite(Valvula4, LOW);  
}
```

Para el modo denominado Por Flujo, se utilizó un caudalímetro modelo G3/4 DN20 de rosca macho y $\frac{3}{4}$ de pulgada, el cual tiene un rango de trabajo de 1 a 30 litros/minuto, con una presión máxima de trabajo de 1.75 MPa lo que equivale a 253.816 psi, El modo de funcionamiento de este programa es simple el caudalímetro se conecta al pin 2 del Arduino UNO, este hará el conteo de los litros totales que se han distribuido, al llegar al valor de litros asignados se cerrara la electroválvula y se abrirá la siguiente, además este caudalímetro ayudara a imprimir en la pantalla los litros por minuto que están pasando a través del sistema, Cabe resaltar que este caudalímetro trabajo bajo el efecto hall y tiene un factor de corrección de 6.6 según datos obtenidos del propio fabricante, en el apartado de Anexos se encuentran más

datos relevantes de este sensor, por ultimo a cada electroválvula se le asignaron datos hipotéticos, cada habitante tendrá 200 litros de agua al día, la asignación de valores queda de la siguiente manera.

Tabla 5 Asignación de litros por casa

Asignación hipotética de habitantes por casa			
Válvula asignada	Numero de casa	Habitantes	Litros asignados al día
Válvula 1	Casa 1	3	600
Válvula 2	Casa 2	5	1000
Válvula 3	Casa 3	2	400
Válvula 4	Casa 4	3	600

Fuente: Elaboración propia

Para el caso hipotético anterior se considera que al día se asignarán 2600 litros diarios por las 4 casas, estos serán asignados cada 24 horas.

El diagrama se flujo de este modo es el siguiente

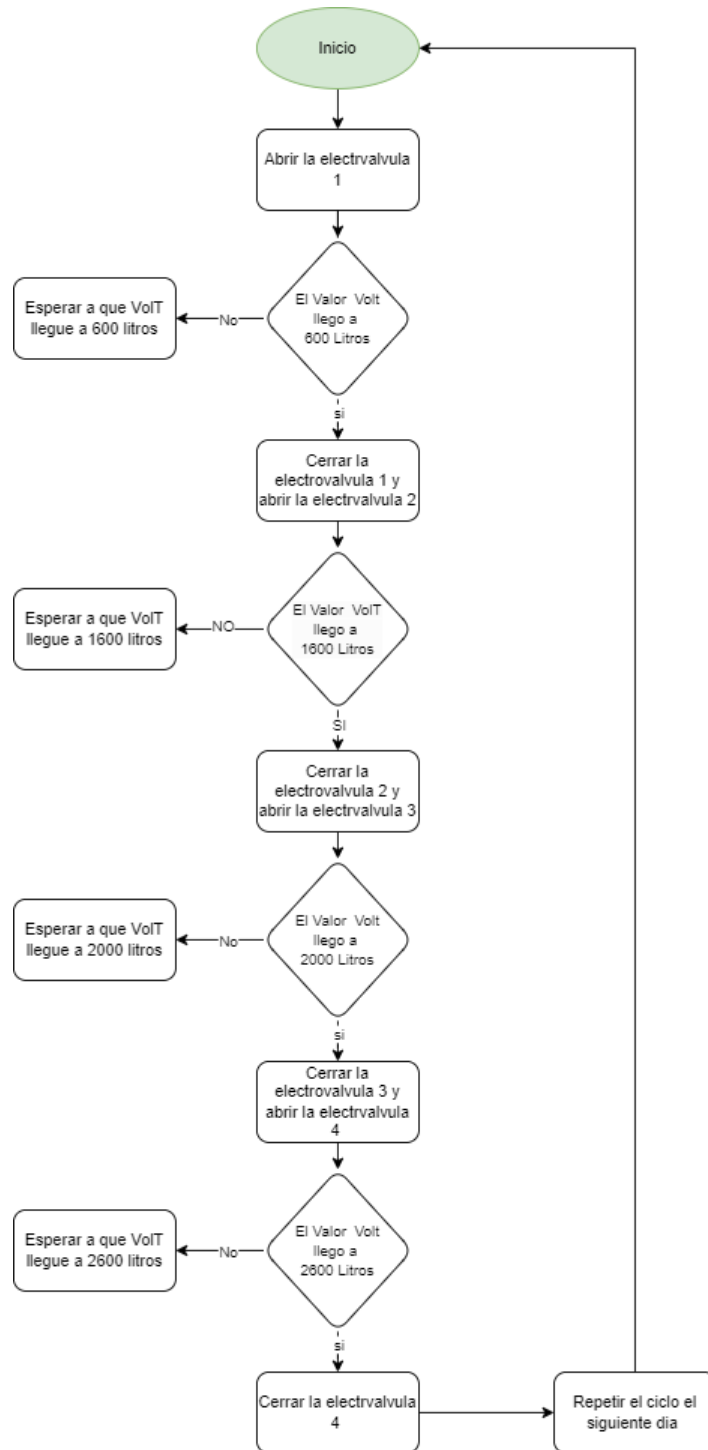


Figura 22 Diagrama de flujo del modo por flujo

Fuente: Elaboración propia

Analizando el diagrama anterior, podemos determinar que cuando inicia el programa automáticamente se abrirá la primera electroválvula y se cerrara en este caso hasta llegar a los 600 litros de agua, posteriormente se abrirá la válvula dos y se cerrara hasta los 1600 litros totales, esto es porque en la pantalla se van guardando la cantidad de litros totales y se optó por no reiniciar el conteo de VoIT, esto para conocer los litros totales que se han distribuido en tiempo real, el valor de VoIT y L/min se actualizan cada segundo, al final de llegar a los 2600 litros y cuando la electroválvula 4 se cierra, si se resetea el conteo de litros totales, para saber de manera visual que electroválvula está abierta en la parte superior de la pantalla lcd se encuentran 4 leds, estos corresponden a cada una de las electroválvulas y se enciende cada uno de ellos cuando la electroválvula que se le asigno está abierta.

Para realizar este programa en el IDE Arduino, de igual manera se utilizaron condicionales, a continuación, se muestra el apartado de las condicionales

```
digitalWrite(Valvula1, HIGH); // Abre la válvula 1

}

if ( vol >= 600){

    digitalWrite(Valvula1, LOW);

    digitalWrite(Valvula2, HIGH);

} // Espera a que el contador llegue a 6, cierra la válvula 1 y abre la válvula 2

if (vol >= 1600) {

    digitalWrite( Valvula2, LOW);

    digitalWrite(Valvula3, HIGH);

} //Espera que el contador llegue a 1600 cierra la válvula 2 y abre la válvula 3

if (vol >= 2000) {

    digitalWrite( Valvula3, LOW);
```

```
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
} // Espera que el contador llegue a 2000 cierra la válvula 3 y abre la válvula 4  
  
if ( vol >= 2600) {  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
} // Espera que el contador llegue a 2600 para cerrar la válvula 4  
  
if ( vol >= 2600) {  
  
vol = 0;  
  
}
```

El último programa denominado Test, sirve para verificar si la etapa de control y la etapa de potencia trabajan de manera adecuada, además sirve para corregir errores de cierre en las electroválvulas, que pudieran ser provocados por pequeñas obstrucciones causadas por pequeñas basuras, en este modo de funcionamiento se abrirán y cerraran las electroválvulas de la siguiente manera.

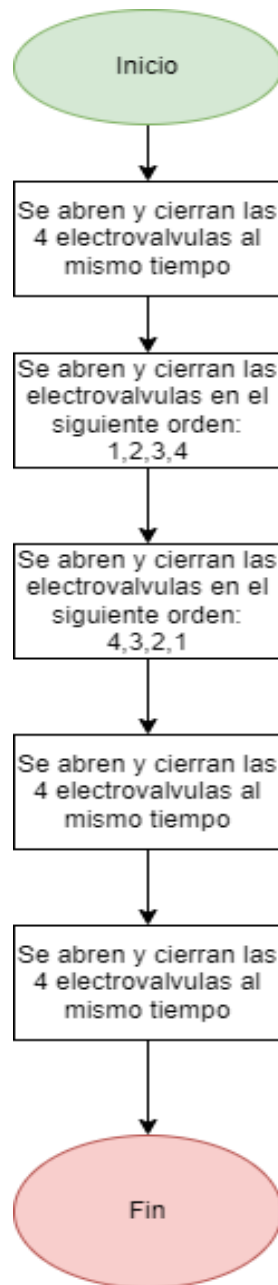


Figura 23 Diagrama de flujo modo test

Fuente: Elaboración propia

El programa para el IDE Arduino quedo se la siguiente manera.

```
digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
    digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
    digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
    digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
    delay(testhigh);  
  
    digitalWrite(Valvula1, LOW);  
  
    digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
    digitalWrite(Valvula3, LOW);  
  
    digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
    delay(testlow);  
  
    digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
    delay(testhigh);  
  
    digitalWrite(Valvula1, LOW);  
  
    delay(testlow);  
  
    digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
    delay(testhigh);  
  
    digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
    delay(testlow);  
  
    digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
    delay(testhigh);
```

```
digitalWrite(Valvula3, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
////////////////////Arreglo  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula3, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
delay(testhigh);
```



```
digitalWrite(Valvula1, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula1, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula3, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
delay(1000);  
  
digitalWrite(Valvula1, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula3, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);
```

Por último se utilizaron 5 leds con una resistencia de 330 ohms cada uno , 1 led de color azul y 4 de color amarillo, el led azul indica si existe voltaje en la placa controladora en este caso el Arduino UNO, este led está conectado al PIN de salida de 3.3 volts de la placa Arduino.

Los otros 4 leds de color amarillo corresponden a cada una de las 4 electroválvulas

El primer led está conectado el PIN 8 del Arduino UNO correspondiente a la electroválvula 1, el segundo led está conectado al PIN 9 del Arduino UNO correspondiente a la electroválvula 2, el tercer led está conectado al 10 del Arduino UNO correspondiente a la electroválvula 3 y por último el led cuatro está conectado al PIN 11 del Arduino UNO correspondiente a la electroválvula 4.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo general de la etapa de control.

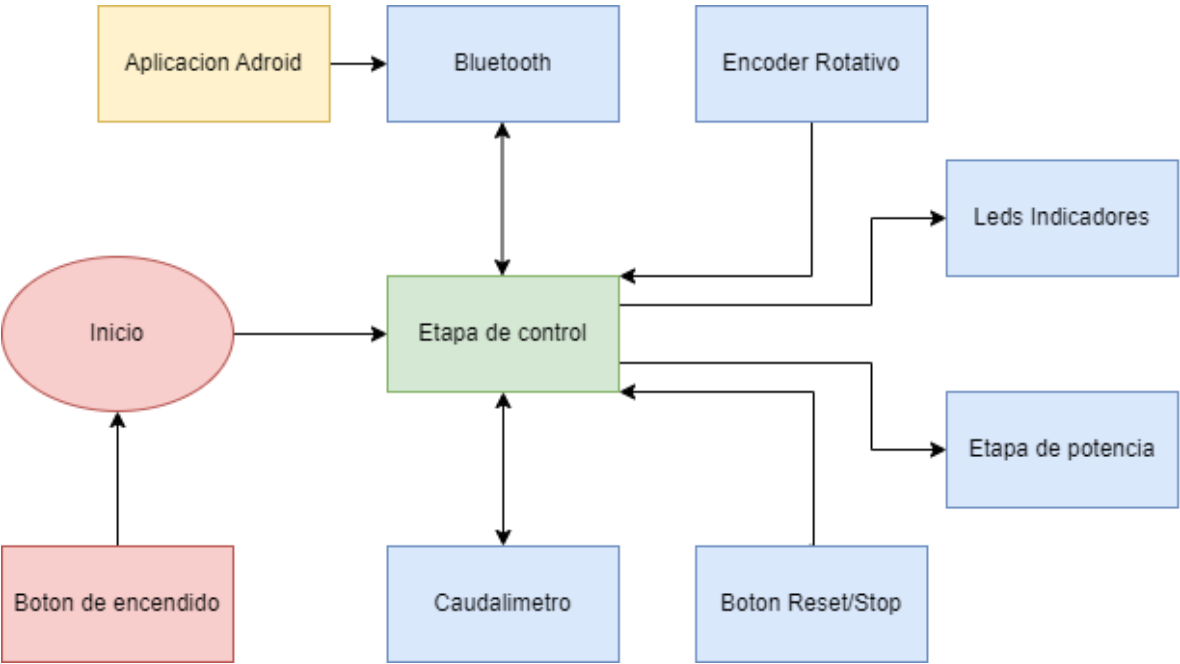


Figura 24 Diagrama de flujo general de la etapa de control

Fuente: Elaboración propia

Se opto por meter la etapa de control dentro de una caja para prototipos, la cual permite proteger los equipos del polvo y el agua. Quedando de la siguiente manera.



Figura 25 Etapa de control ensamblada

Fuente: Elaboración propia

7.3 Diseño de la etapa de potencia

Considerando que los relevadores convencionales electromecánicos tienen partes móviles que en determinado tiempo se produce desgaste en ellas, además de que se pueden fundir o presentar corrosión en los contactores. Por otro lado, los relevadores convencionales tienen una velocidad de conmutación de 5 milisegundos en comparación a los 0.2 milisegundos de los Mosfet.

Con respecto a niveles de ruido los relevadores convencionales electromecánicos producen ruido a la hora de conmutarse y los Mosfet son totalmente silenciosos.

Que, si bien el precio de los Mosfet es mayor que el de los relevadores convencionales electromagnéticos, la vida útil de los Mosfet es mayor.

Conociendo que el Arduino UNO en cada uno de sus pines no puede tener voltaje de salida mayor a 5 Volts y una corriente máxima de 40 miliampers, lo cual limita su capacidad de mover las electroválvulas por sí solo, se consideró el diseño la etapa de potencia, en la cual únicamente aprovecharemos las señales que provienen del Arduino UNO y serán procesadas en la etapa de potencia y de esta manera accionar las electroválvulas.

Se utilizaron 4 módulos Mosfet D4184, en estos módulos tenemos una entrada de señales provenientes del Arduino UNO, por el otro lado tenemos una entrada de voltaje para controlar la etapa de potencia que en este caso es de 12 Volts, y posteriormente una salida de potencia de igual manera a 12 Volts, además de una corriente máxima de 2A.

A continuación, se muestran algunos puntos destacados del módulo Mosfet D4184:

1. Uso de salida activa paralela dual MOSFET, menor resistencia, más corriente, potencia fuerte. A temperatura ambiente para proporcionar corriente de 15A a 400W de potencia.
2. Entrada de voltaje amplio, compatible con PWM.
3. Fácil de controlar dispositivos de alta potencia.

Especificaciones y aplicaciones del producto:

1. Voltaje de funcionamiento: CC 5V - 36V;
2. La fuente de disparo: Digital alto-bajo (DC3.3V - 20V), se puede conectar el puerto IO del microcontrolador, interfaces PLC, alimentación CC, puede acceder a la señal PWM, la señal puede ser compatible con rango de frecuencia 0 -- 20KHZ.
3. Capacidad de salida: DC 5V - 36V, a temperatura ambiente, corriente continua 15A, potencia 400W.
4. Aplicación: equipos de alta potencia, motores, bombillas, luces LED, motores de CC, microbombas, válvula de solenoide; control de velocidad del motor, brillo de la lámpara.
5. Temperatura de trabajo: -40-85 °C;
6. Tamaño: 3,4*1,7*1,2 cm.

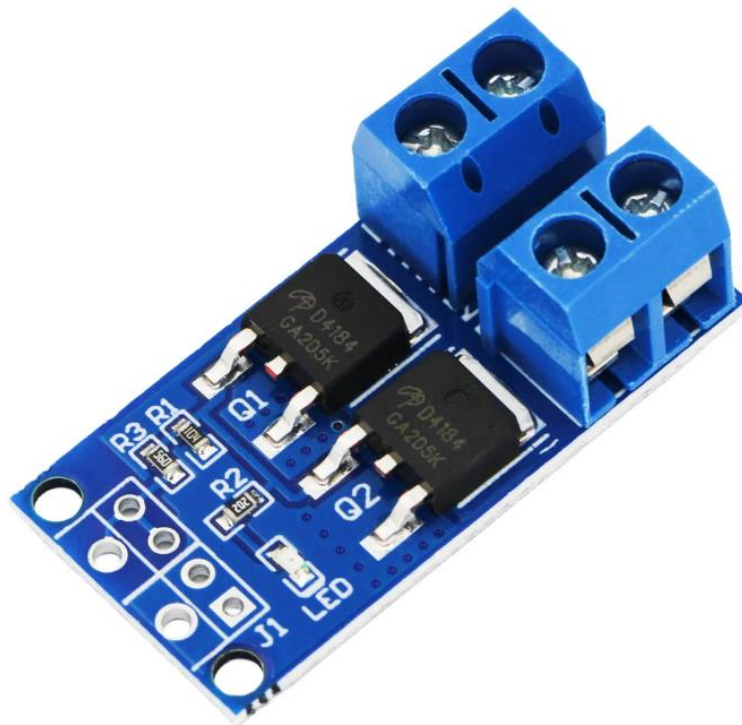


Figura 26 Modulo Mosfet D4184

Fuente: Fabricante Elanzeme

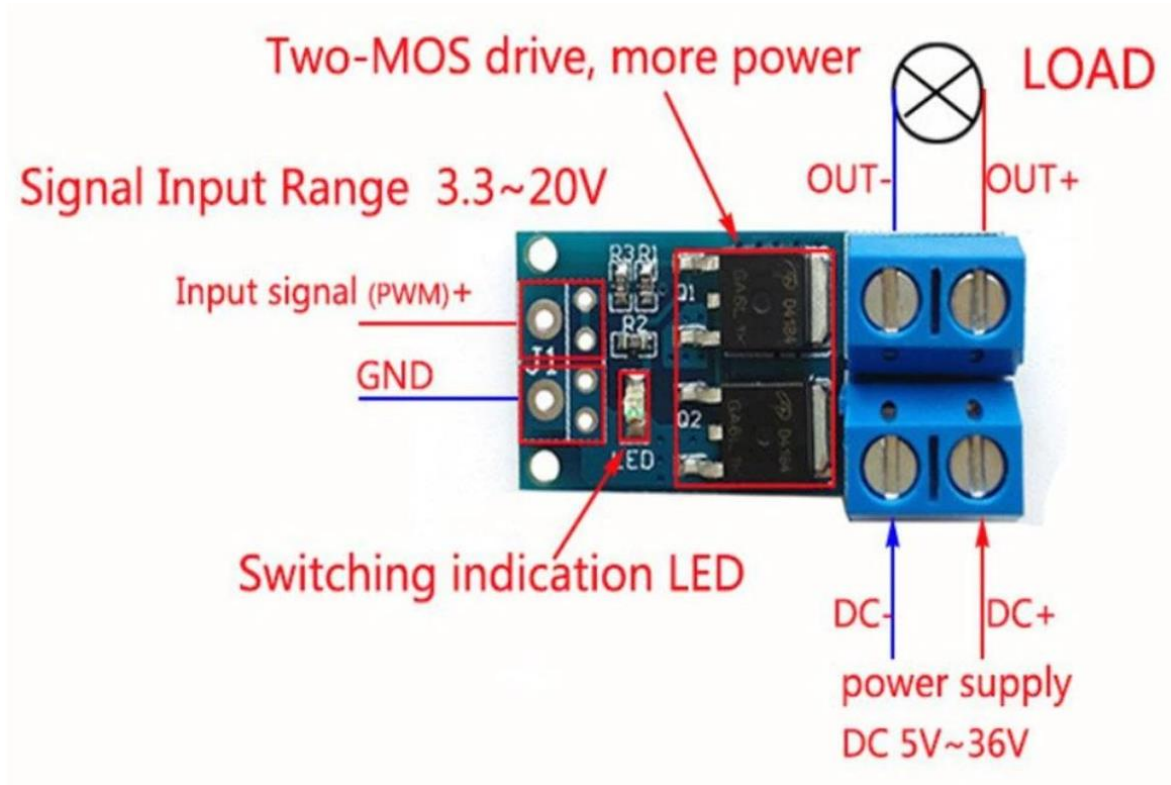


Figura 27 Diagrama de conexión del módulo Mosfet D4184

Fuente: Fabricante Elanzeme

Este módulo tiene una capacidad de trabajo de 5 Volts hasta 36 Volts y 15 Amperes de corriente continua, las electroválvulas que se utilizaron trabajan a 12 Volts y 2 Amperes de corriente máxima, por lo cual cuenta con las características adecuadas para operar en la etapa de potencia del control de las electroválvulas.

A cada Mosfet d4184 se le asignó una señal proveniente del Arduino UNO esta señal es PWM con Arduino es de 490 Mhz (980 Mhz si utilizas los pines 5 y 6) lo que indica que se encenderá y apagará 490 veces en un segundo, además de un color de cable para cada señal, esto con la finalidad de poder reemplazar el módulo si fuera necesario, a continuación, se muestra la tabla de asignaciones

Tabla 6 Asignación de señales de etapa de potencia

Asignación de valores para la etapa de potencia				
Numero de electroválvula	Numero de Mosfet	PIN de Arduino	Color de cable	PIN Mosfet
Electroválvula 1	Mosfet 1	8	Blanco	Input Signal
Electroválvula 2	Mosfet 2	9	Amarillo	Input Signal
Electroválvula 3	Mosfet 3	10	Azul	Input Signal
Electroválvula 4	Mosfet 4	11	Naranja	Input Signal
-	Mosfet 1, Mosfet 2, Mosfet 3, Mosfet 4	Gnd	Negro	Input GND

Fuente: Elaboración Propia

Además de las señales positivas del Arduino UNO también se utiliza un cable negativo que va a cada Mosfet, para esto se construyó un arnés eléctrico proveniente del PIN Gnd y se encuentra la entrada de señal de cada Mosfet en el PIN GND.

Para las entradas de Power Supply también se construyeron dos arneses eléctricos uno para el voltaje de 12 Volts y otro para el negativo, ambos voltajes provienen del conector principal del controlador de carga.

Se considero también utilizar conectores circulares además de meter los componentes anteriores en una caja de proyectos y acomodar los Mosfet de 1 al 4,

Se utilizaron conectores circulares en la parte inferior de la caja para que sea más fácil la conexión de las electroválvulas, Quedando de la siguiente manera.



Figura 28 Armado de conectores circulares

Fuente: Elaboración propia

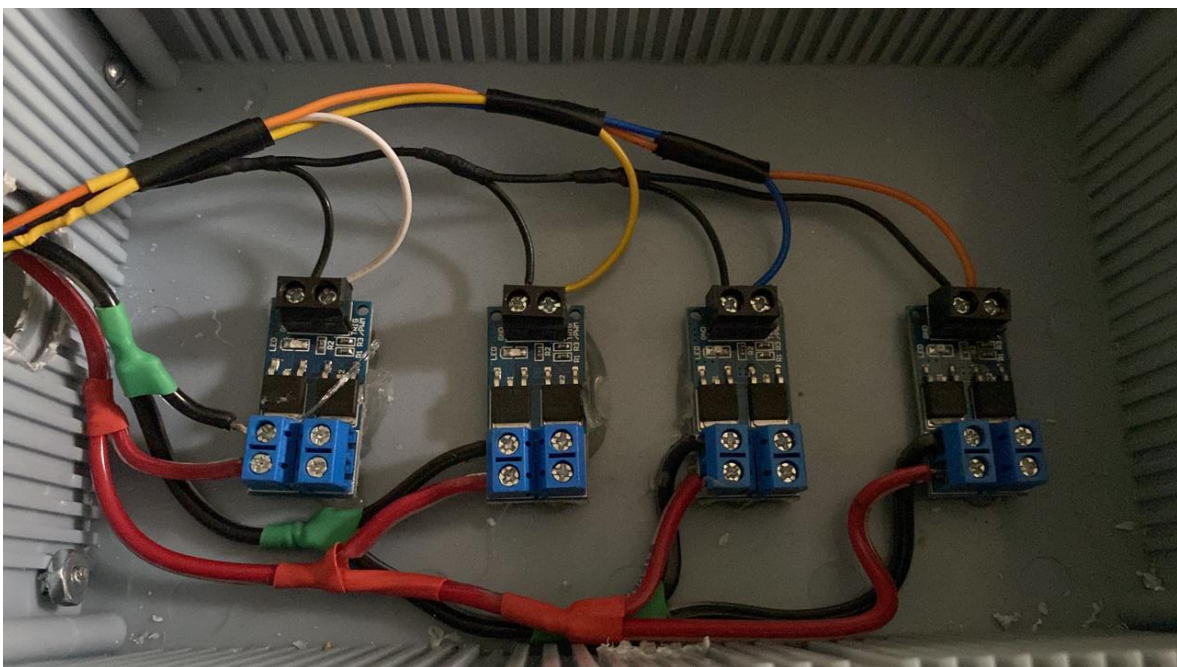


Figura 29 Etapa de potencia Terminada

Fuente: Elaboración propia

7.4 Diseño de la aplicación Android

Para el diseño y realización de la aplicación Android se utilizó MIT App Inventor, MIT App Inventor es una herramienta en línea que originalmente fue creada por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Más tarde fue adoptada por Google para ofrecer a sus usuarios/as una interesante solución tecnológica con la que crear apps para dispositivos Android de una forma sencilla.

Los requisitos de uso son:

- Disponer de un equipo PC (Windows, Mac, Linux) con conexión a Internet.
- Tener una cuenta Google: usuario y contraseña.
- Se recomienda utilizar un navegador web como Google Chrome o Mozilla Firefox.

Cabe mencionar que la aplicación de MITapp inventor no requiere condiciones extra de la computadora, pues es una aplicación de bajos requisitos que se ejecuta en línea

El proceso de creación de una app con MIT App Inventor consta de 3 fases:

1. Diseñador de pantallas. Se crean las distintas ventanas o pantallas que contendrá la aplicación. En ellas sitúan sus componentes: imágenes, botones, textos y se configuran sus propiedades.
2. Editor de bloques. Permite programar de forma visual e intuitiva el flujo de funcionamiento del programa utilizando bloques. Cada objeto dispone de unos métodos específicos que es posible invocar personalizando sus parámetros de llamada.
3. Generador de app. Al finalizar las fases de diseño y programación, se genera el instalador APK de la aplicación. Se puede obtener un código QR para su descarga temporal desde el móvil o bien el propio archivo APK para descargar, publicar en la nube y/o enviar a otros usuarios/as. [5]



Figura 30 Proceso de creación de una app con MIT App Inventor

Fuente: INTEF

A continuación, se describen las partes generales de MIT App inventor

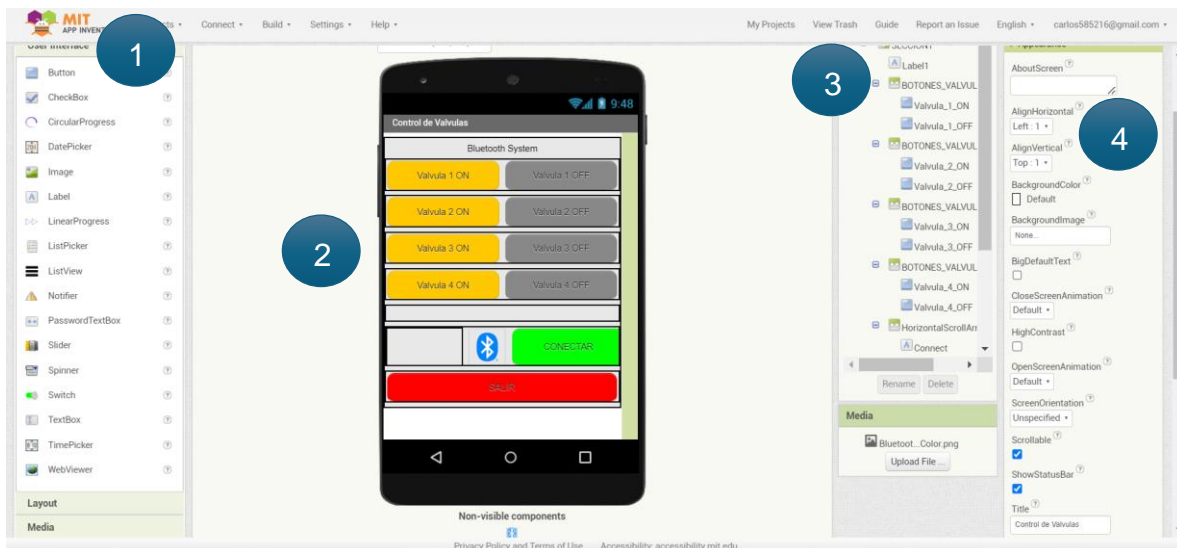


Figura 31 Partes generales de MIT App Inventor

Fuente: Elaboración propia

En la pestaña con el numero uno encontramos todos los caracteres visuales que podemos insertar en la pantalla, desde botones hasta imágenes y texto.

En el numero dos encontramos un visualizador que nos permitirá diseñar nuestra App, dentro del visualizador podemos mover los botones a nuestro gusto además de darnos una idea de cómo se vera la aplicación final instalada en el dispositivo Android

En el apartado tres podemos tener todos los componentes insertados como pantallas y botones, en este apartado podemos seleccionar los botones y pantallas que se desean editar para poder modificarlos en el apartado 4.

En el número cuatro están todas las características de las pantallas y botones, estas se pueden editar para darles un nuevo formato, podemos variar desde color y forma de texto, hasta cambiar botones con imágenes como se hizo en el caso del botón bluetooth, que es un botón que no tiene texto, pero tiene el símbolo de bluetooth.

Con lo observado anteriormente, lo primero que se utilizo fue el Diseñador en el cual tendremos los botones que aparecerán en pantalla del dispositivo Android, quedando de la siguiente manera:

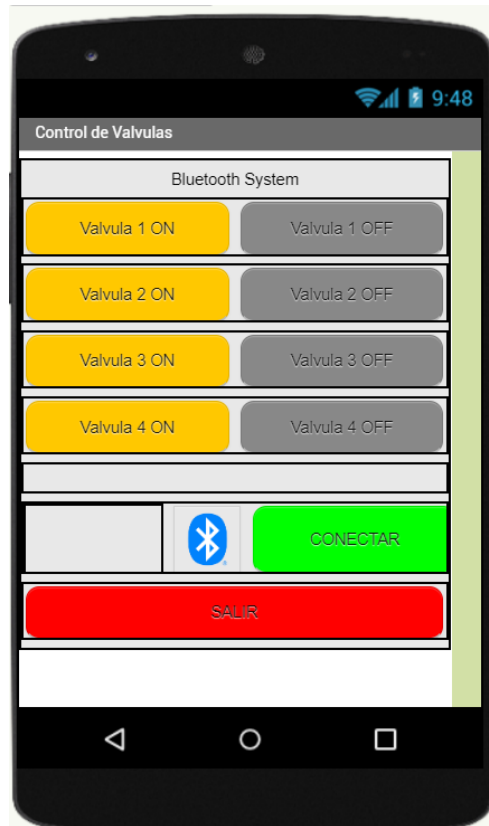


Figura 32 Pantalla principal App Android

Fuente: Elaboración propia

Como observamos en la figura anterior (Figura 32) la aplicación cuenta con 8 botones para el control de las electroválvulas cada uno de ellos con su respectiva función y número de electroválvula, 2 botones para la conexión con el módulo hc-05, uno con el símbolo de bluetooth y el otro con la leyenda “conectar”, por último, tenemos el botón de salir que se le asignó el color rojo.

Para el diseño del editor de bloques se tuvieron algunas consideraciones:

1. Al iniciar la aplicación en el dispositivo Android debe solicitar permisos de la utilización de bluetooth
2. No deben de aparecer las electroválvulas en la pantalla hasta que se logre conectarse al módulo hc-05

Con las consideraciones anteriores tenemos el siguiente conjunto de bloques:

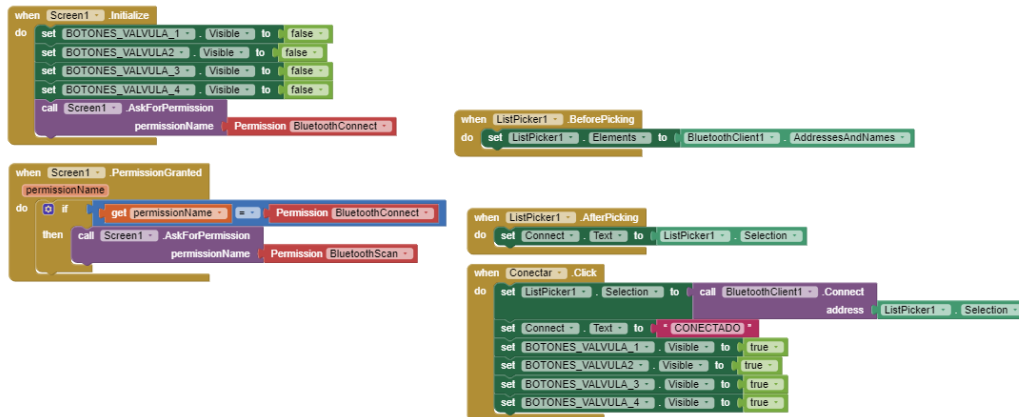


Figura 33 Conjunto de bloques al iniciar la App

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 33 al iniciar la pantalla la visibilidad de los botones de las válvulas se encuentra negada, además al mismo instante preguntara si el usuario concede los permisos para que la App utilice la conexión Bluetooth, de ser aceptados los permisos dejara continuar la conexión mediante el enlace bluetooth, primero pulsaremos el botón que tiene el logo de bluetooth, y posteriormente de desplegar una pantalla para seleccionar el módulo hc-05 lo seleccionaremos y pulsaremos el botón conectar, hasta ese momento la visibilidad de los botones de las válvulas es aceptado y se mostraran en la pantalla.

Conjunto de bloques para enviar las letras asignadas y que el módulo hc-05 realice las acciones de acuerdo a (Tabla 3).



Figura 34 Conjunto de bloques para el envío de letras a módulo HC-05

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura anterior (Figura 34) podemos observar que de igual manera se utilizaron condicionales, similares a los del IDE de Arduino, la condición es que al momento de pulsar cualquier botón de las válvulas, la aplicación enviara un texto con la letra asignada, este será recibido por el módulo hc-05 y enviada al Arduino este la interpretara y hará la acción designada para esa letra, a continuación de muestra un ejemplo.

Al pulsar en la pantalla de la aplicación el botón “VALVULA 1 ON” la App enviara el texto con la letra “a” este será recibido por el módulo hc-05 y lo enviara al Arduino UNO, este último lo interpretara y como dentro del código se decretó que al recibir la letra “a” la válvula 1 se abre, el Arduino UNO enviara el pulso al mosfet 1 para que habrá la electroválvula 1, esta electroválvula uno no cambiara de estado hasta que se reciba la letra que cierre la misma, para el caso de la electroválvula 1 la letra “b”.

Al final tenemos el botón “Salir” el cual si lo presionamos la App Android se desconectará del módulo hc-05 y posteriormente cerrará la App, si volvemos a iniciar la App tendremos que repetir todo el proceso de conexión.

Por último, se creó la APK de la APP se le designo el nombre de “BLUE”, para construir el APK solo se presionó en construir y después en generar APK se esperó aproximadamente 30 segundos a que se terminara de construir y posteriormente se descargó el APK

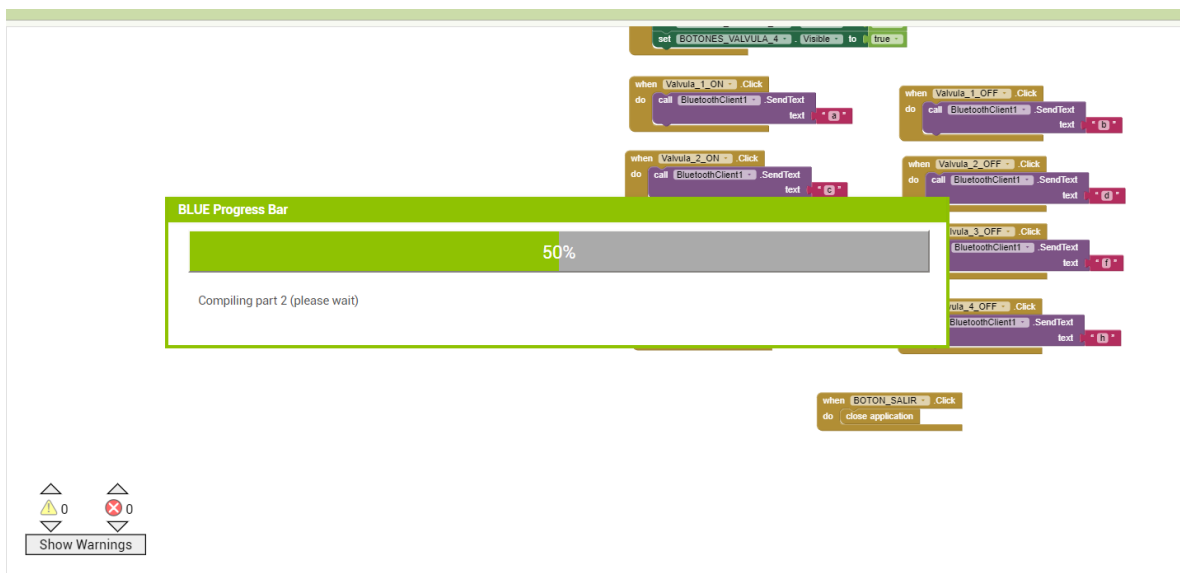


Figura 35 Proceso de construcción del APK

Fuente: Elaboración propia

Por último, la aplicación se subió a drive y se creó un código QR para que el usuario pueda acceder a ella y descargarla a su dispositivo Android.



Figura 36 Código QR para la descarga de la App

Fuente: Elaboración Propia

7.4 Diseño del sistema Fotovoltaico Autónomo

Para el diseño del sistema fotovoltaico autónomo que alimentará el prototipo se consideró como ubicación el municipio de Texcoco, Estado de México.

Lo anterior es importante pues por medio de la base de datos de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) se obtendrán valores que son importantes para el diseño del sistema fotovoltaico como lo es la latitud y las horas solares mínimas.

De acuerdo a datos obtenidos de la NASA las horas solares mínimas para el municipio de Texcoco es de 4.98 Correspondientes al mes de septiembre con una latitud de 19.49 y una longitud de -98.88. [18]

Cabe mencionar que las electroválvulas consumen un máximo de 2 Ampers según el fabricante, pero en las pruebas solo consumió máximo 0.3 Ampers al momento de activarlas, como este valor solo se obtiene por unos pocos milisegundos, este valor es despreciable.

Si se conoce que el equipo con electroválvulas consume 0.01 Ampers y el sistema fotovoltaico será de 12v, se obtiene la potencia con la siguiente formula:

$$W = V * I$$

W = Potencia en Watts

V = Voltaje en Volts

I = Corriente de consumo en Ampers

Por lo tanto:

$$W = 12v * 0.01A = 0.12W$$

$$W = 0.12W$$

Si el equipo trabajara por 24 horas al día entonces

$$\frac{Wh}{Dia} = W * HU$$

$\frac{Wh}{Dia}$ = Watts hora por dia

W = Potencia del prototipo en W

HU = Horas de uso del prototipo

Por lo tanto:

$$\frac{Wh}{Dia} = 0.12W * 24 = 2.88 Wh/Dia$$

$$\frac{Wh}{Dia} = 2.88$$

A continuación, se muestra el caculo para la potencia del sistema fotovoltaico:

$$PSF = \frac{\frac{Wh}{Dia} * 1.2}{HSPmin} =$$

PSF = Potencia sel sistema fotovoltaico

$\frac{Wh}{dia}$ = Potencia del porotitpo en W totales

1.2 = Constante

$HSPmin$ = Horas solares pico minimas anuales

Por lo tanto:

$$PSF = \frac{2.88 \frac{Wh}{Dia} * 1.2}{4.98 HSPmin} = 0.70 W$$

$$PSF = 0.70W$$

Numero de módulos fotovoltaicos, para este caso en particular la potencia del panel es de 80W

$$N. Modulos = \frac{PSF}{PM}$$

N. Modulos = Numero de modulos fotovoltaicos

PSF = Potencia del sistema fotovoltaico en W

PM = Potencia del modulo fotovoltaico seleccionado

Por lo tanto:

$$N. Modulos = \frac{0.70W}{80W} = 8.75 \times 10^{-3}$$

Con lo anterior se deduce que el módulo fotovoltaico de 80W se puede utilizar para alimentar el prototipo.

A continuación, se muestra el cálculo de los Ah/Dia:

$$\frac{Ah}{Dia} = \frac{\frac{Wh}{Dia} / 0.9}{VS}$$

$$\frac{Ah}{Dia} = \text{Ampers hora /Dia}$$

$$\frac{Wh}{Dia} = \text{Watts hora por dia}$$

0.9 = *Constante*

VS = voltaje del sistema en volts puede ser 12,24,48

Por lo tanto:

$$\frac{Ah}{Dia} = \frac{2.88 \frac{Wh}{Dia} / 0.9}{12 v} = 0.26$$

$$\frac{Ah}{Dia} = 0.26$$

Cálculo de baterías en serie:

$$BS = \frac{VS}{VB}$$

BS = numero de baterias en serie

VS = Voltaje del sistema en volts

VB = Voltaje de la bateria volts

Como se consideró utilizar una batería de 12 Volts el valor de VB va a ser igual a 12Volts, por lo tanto.

$$BS = \frac{12V}{12V} = 1$$

Por lo anterior una batería de 12 volts cumplirá con la demanda eléctrica del prototipo.

Baterías en paralelo para este cálculo se utiliza una batería con las siguientes características, Epcom PL-7-12 batería recargable Sealed Lead Acid (VRLA) 7000 mAh 12v con un porcentaje de descarga de 50%

$$BP = \frac{\frac{Ah}{Dia} * N}{Pd * AB}$$

BP = Numero de baterias en paraelo

$$\frac{Ah}{Dia} = \text{Ampers hora /Dia}$$

N = Dias de autonomia

$Pd = \text{Porcentaje de descarga de la batería}$

$AB = \text{Amperaje de la batería}$

Por lo tanto:

$$BP = \frac{0.26 \frac{Ah}{Día} * 5}{0.5 * 7} = 0.38$$

Lo anterior indica que para 5 días de autonomía utilizando la batería seleccionada utilizara un 38% de su descarga

Para este caso en particular debido a la poca corriente que se utiliza se empleara un controlador de carga de 10Ampers y se desprecia el calibre del conductor sin embargo se utilizara calibre 14 AWG.

continuación, se muestra una tabla de los calibres de conductores y su corriente soportada:

Tabla 7 Calibre de conductores y amperaje máximo soportado

Calibre del cable	Amperaje máximo soportado
20 AWG	2 A
18AWG	10 A
16 AWG	13 A
14 AWG	18 A

En México manejamos una inclinación de 10° a 30° aproximadamente, todo depende de la latitud del estado donde se esté instalando[19], si no se utilizan las inclinaciones adecuadas tendremos un sistema deficiente en producción energética.

Por lo tanto, para este prototipo se manejó una inclinación de entre 19 y 20 grados aproximadamente pues se tomó como referencia la latitud del lugar.

7.6 Armado del prototipo

La consideración de que el prototipo se integral, lo que quiere decir que todos los componentes deben de estar dentro del mismo equipo, a continuación, se muestra el listado de los componentes que deben estar instalados en el prototipo:

Tabla 8 Componentes del Prototipo

Componentes que debe contener prototipo
Etapa de control
Etapa de potencia
Panel solar
Controlador de carga de batería
Batería
Electroválvulas
Cableado de potencia
Cableado de sensores

Fuente: Elaboración propia

Como todos los componentes deben de estar protegidos contra la radiación solar, polvo y agua se construyeron dos gabinetes de aluminio, uno para la etapa de control y potencia y el otro para las electroválvulas y el sistema hidráulico.

El primer gabinete se construyó con las siguientes dimensiones 45x35x16 cm, Para poder unir las placas de aluminio se dejó una pestaña de aproximadamente 1 centímetro y remaches de aluminio, además se utilizó silicón para para poder realizar un sello más hermético entre las uniones, se puso una puerta para el

gabinete con un Angulo de aluminio lo cual le da mayor resistencia a la puerta, también se pusieron dos bisagras metálicas para permitir la apertura y cierre de la puerta, por último se pusieron dos porta candado para evitar que alguien ajeno al usuario principal pueda acceder a los componentes.

Para las electroválvulas se utilizó un gabinete de las siguientes dimensiones 95.5x12x17 cm, de igual manera cuenta con puerta y portacandados, esto es con el fin de evitar daños por las condiciones climáticas, posteriormente se hicieron 4 orificios por donde saldrán las roscas de las electroválvulas.

Las electroválvulas se instalaron en paralelo respecto a la tubería principal, y cada una está a 20cm una de otra, además cabe mencionar que el caudalímetro se encuentra en la tubería principal, las electroválvulas fueron conectadas mediante cables que fueron ordenados para tener un mejor orden y apariencia que van directamente a la etapa de potencia, Quedando de la siguiente manera.



Figura 37 Sistema de electroválvulas y tubería

Fuente: Elaboración propia



Figura 38 Instalación de caudalímetro

Fuente: Elaboración propia

Como podemos ver en la Figura 38, el caudalímetro se instaló al inicio de la tubería de distribución, además se realizó el arnés del caudalímetro debido al que la distancia original que traía de fábrica, no era la distancia adecuada para poder conectarlo a la etapa de control. al final del arnés también se agregó un conector circular de 3 pines.



Figura 39 Proceso de rolado de la lamina

Fuente: Elaboración propia



Figura 40 Gabinete de electroválvulas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 40, podemos observar el gabinete con los cuatro orificios por los cuales salen las roscas de las electroválvulas, lo cual permite la conexión del prototipo con la red de distribución.



Figura 41 Parte posterior del gabinete de electroválvulas

Fuente: Elaboración propia

Por la parte trasera de este gabinete encontramos el acceso a los cables que alimentan las electroválvulas, así como el caudalímetro, cualquiera de estas piezas es fácil de reemplazar en caso de daño o mal funcionamiento de las mismas.

Las características y el modelo de las electroválvulas se encuentran en el apartado de anexos.

Para la construcción del gabinete donde se encontrará la etapa de control, etapa de potencia, controlador de carga y batería, se realizó el armado por caras del gabinete y de igual manera que el gabinete de electroválvulas se utilizó remaches de aluminio para realizar estos empalmes, en la siguiente figura podemos ver el proceso de armado del gabinete.



Figura 42 Armado de gabinete etapa de control y potencia

Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 podemos observar los empalmes que se fueron realizando para lograr armar por completo el gabinete.

También se pusieron dos conectores MC4 los cuales harán la conexión entre el panel fotovoltaico y el gabinete, esto con el fin de evitar que, entre polvo y humedad, al gabinete también se le hicieron 6 orificios por donde pasaran los cables de las electroválvulas y sensores, estos se encuentran en la parte inferior del gabinete, y en la parte superior se encuentra un orificio por donde se conectó el módulo bluetooth hc-05, el cual está protegido por un recipiente de cristal.

Para el armado de la base donde se encuentra el panel fotovoltaico, el gabinete de control y la etapa de potencia se diseñó una base la cual tiene las dimensiones del panel fotovoltaico que se utilizó, además se consideró construirla de un material resistente para este caso de PTR de 1 ½ pulgadas y tiene una inclinación de aproximadamente 19 grados correspondientes a la latitud de Texcoco, Estado de México.

A continuación, se muestran algunas imágenes del diseño creado en SOLIDWORKS para la base del panel.

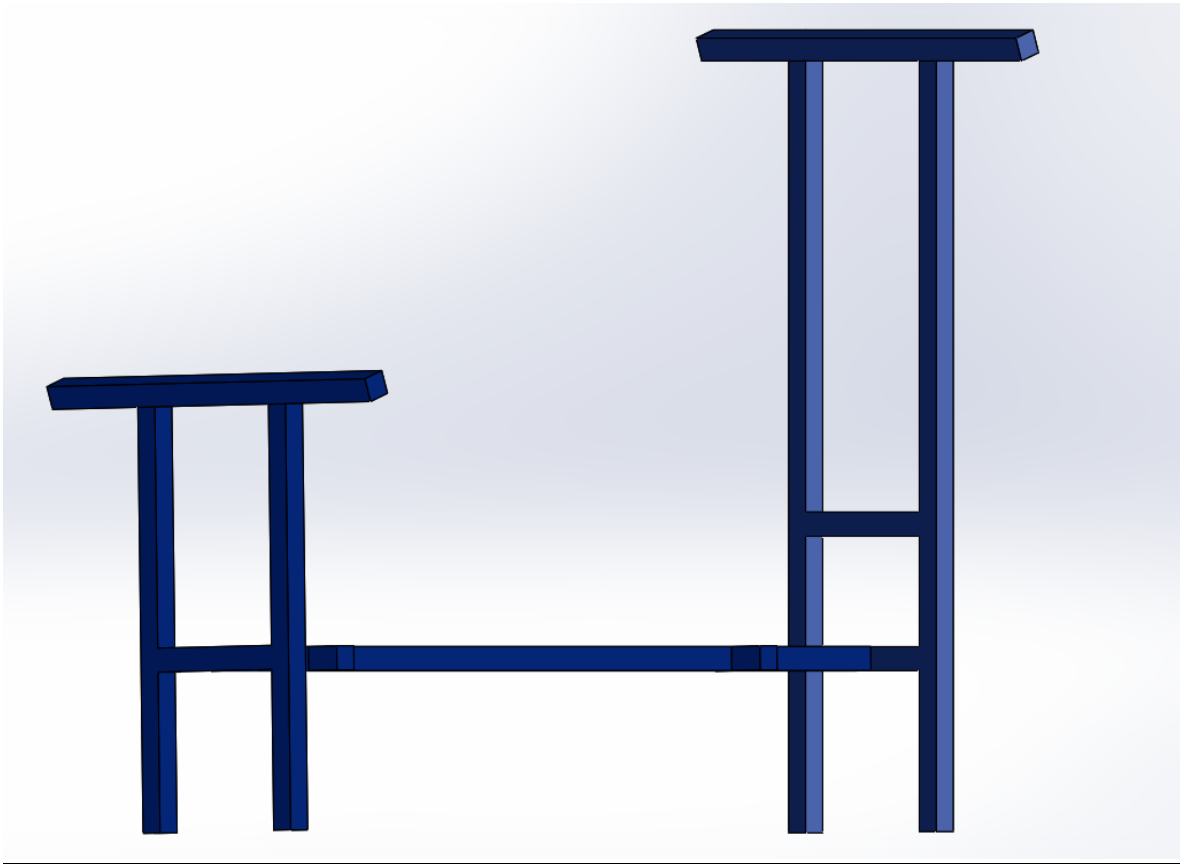


Figura 43 Vista frontal lateral de la base

Fuente: Elaboración propia

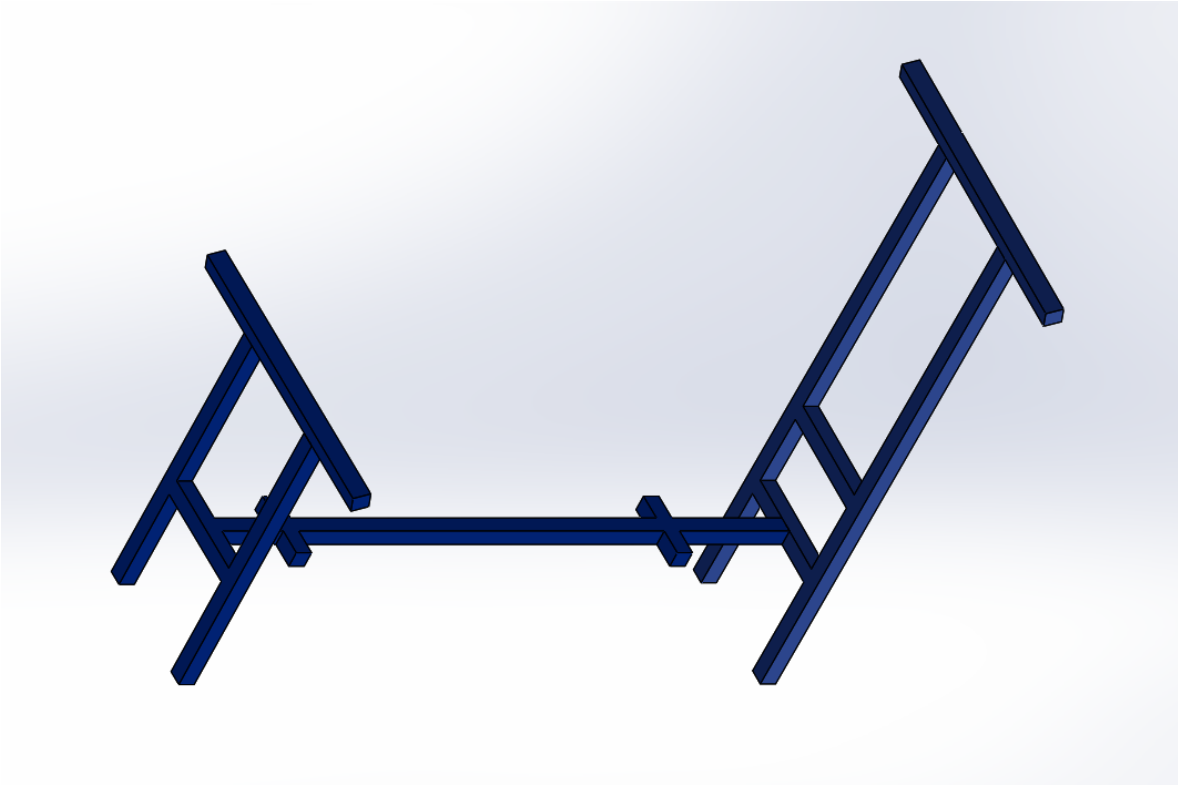


Figura 44 Vista superior lateral de la base

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 43 y figura 44 el diseño es compacto lo cual permite ocupar menor espacio y ahorro de material al momento de la construcción, para elaborar el prototipo se utilizaron aproximadamente 7 metros de PTR y 700 gramos de soldadura 6013, además de herramientas básicas como taladro, planta de soldar, discos de corte y pulido para esmeril de 4/2, metro, escuadra magnética, marcador para metales, guantes de protección, lentes de protección y tapones auditivos.

Para realizar de manera adecuada los ángulos de unión se utilizó una escuadra magnética la cual permite tener ángulos a 90 grados de una manera sencilla, esto con el fin de evitar que existan errores en el armado.



Figura 45 Proceso de soldadura para el armado del prototipo

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 45 las soldaduras se procuraron realizar con calidad, para evitar que las uniones se rompan con el transporte y operación del prototipo.



Figura 46 Base sin pintura

Fuente: Elaboración propia



Figura 47 Base terminada pintada

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la imagen anterior a la base se le aplicó 3 capas de pintura alquídica color azul, y para tener una mejor adherencia al metal se limpió con un disolvente con la finalidad de eliminar impurezas.

Esta pintura se dejó secar por 24 horas, después del tiempo de secado se midieron los gabinetes y se fijaron con tornillos.

6 tornillos para el gabinete de control y potencia, 4 tornillos para el gabinete de las electroválvulas



Figura 48 Base con gabinetes instalados

Fuente: Elaboración propia

Después de la instalación de los gabinetes, se instaló el panel fotovoltaico este se encuentra anclado con cuadro tornillos cada uno en una esquina de la base.

Cabe mencionar que al panel fotovoltaico también se le instalaron conectores MC4, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 49 Conectores mc4 del panel fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

Los componentes como la etapa de control, etapa de potencia, controlador de carga se instalaron con tornillos en la parte interior del gabinete.

En la siguiente imagen se muestran los equipos ya instalados dentro del gabinete

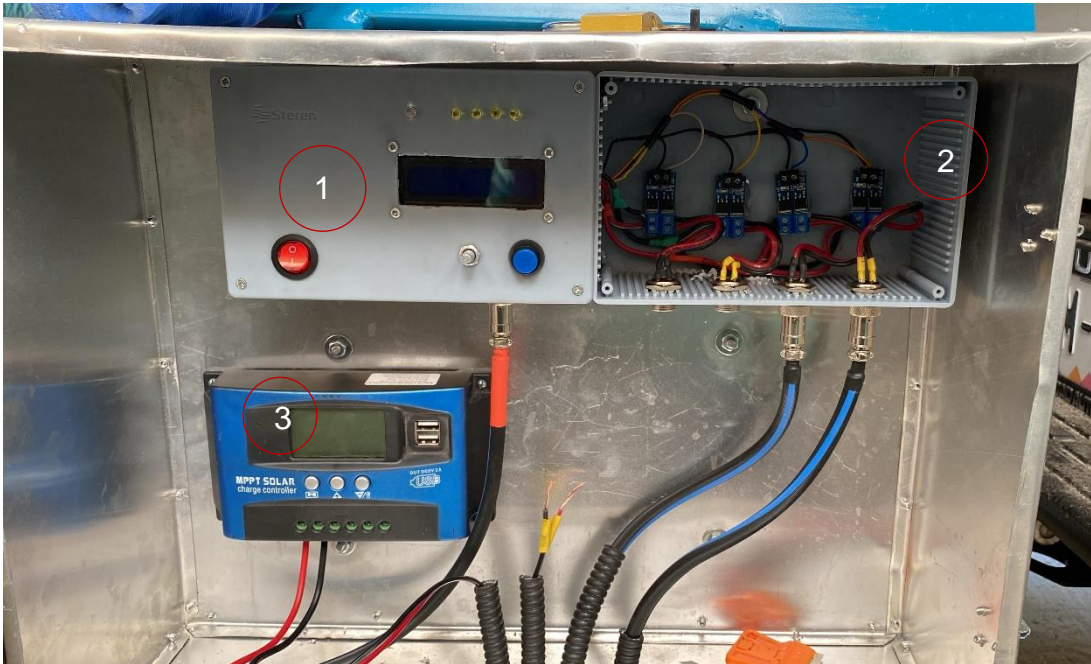


Figura 50 Componentes dentro del gabinete

Fuente: Elaboración propia

Como observamos en la figura anterior en el numero 1 tenemos la etapa en el numero 2 tenemos la etapa de potencia y por último en el numero 3 tenemos el controlador de carga de la batería.

Para realizar la conexión entre la etapa de potencia y electroválvulas, así como de sensores y etapa de control se utilizó tubería flexible recubierta de plástico, esto con el fin de alargar la vida útil del arnés eléctrico.

Por último, al instalar la batería se le construyó un sistema de anclaje con una solera de aluminio y dos tornillos como se muestra en la siguiente figura.



Figura 51 Anclaje de batería al gabinete

Fuente: Elaboración propia

El último paso fue la colocación de los nombres a cada botón y conexión, para tener un mejor entendimiento de operación para el usuario final.

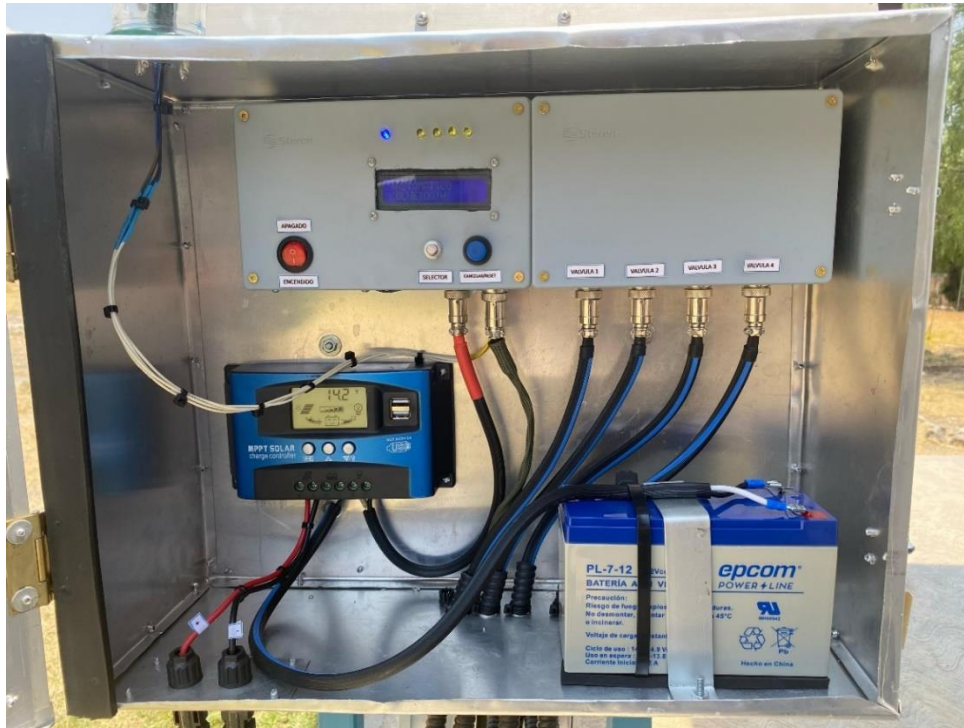


Figura 52 Gabinete terminado

Fuente: Elaboración propia



Figura 53 Prototipo terminado

Fuente: Elaboración propia

8. Resultados y discusión

8.1 Selección de materiales adecuados para una durabilidad a las condiciones climáticas

Los materiales seleccionados para la elaboración de este prototipo, no sufrieron alteraciones de ningún tipo al exponerse a diferentes condiciones climáticas como lo fue temperaturas de hasta 32 grados, lluvias y polvo.

8.2 Etapa de control por de Arduino uno

El código obtenido de la etapa de control por Arduino Uno es el siguiente:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> ///  
  
#include <LiquidMenu.h>  
  
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);  
  
//Tiempo Test  
  
int testhigh = 200;  
  
int testlow = 100;  
  
///Caudalimetro  
  
volatile int flow_frequency;  
  
float vol = 0.0, l_minute;  
  
unsigned char flowsensor = 2; // Sensor Input  
  
unsigned long currentTime;  
  
unsigned long cloopTime;  
  
//  
  
//ENCODER
```

```

#define outputA 6 //Antiorario

#define outputB 7 //Horario

#define sw 4 //Pulsador encoder

int aState; //determina el sentido de rotacion del encoder

int aLastState;

#define Valvula1 8 //Declaración de los pines de válvulas

#define Valvula2 9

#define Valvula3 10

#define Valvula4 11

int estadob = 0; // LECTURA DEL BT

int conditionW = 1; // ESTADO PARA EL CICLO WHILE

int led_seleccionado = 0; // Identificar Válvula seleccionada para control

//Pantalla 1

LiquidLine linea1(1, 0, "AUTOMATICO");

LiquidLine linea2(1, 1, "BLUETOOTH");

LiquidLine linea3(1, 0, "POR FIUJO");

LiquidLine linea4(1, 1, "TEST");

//Menu creado 1

LiquidScreen pantalla1(linea1, linea2, linea3, linea4);

//Pantalla 2

```

```

LiquidLine linea1_2(1, 0, "ON");

LiquidLine linea3_2(1, 1, "REGRESAR A MENU ");

LiquidScreen pantalla2(linea1_2, linea3_2);

//Menu creado 2

LiquidMenu menu(lcd, pantalla1, pantalla2);

void flow () // Interrupt function to increment flow

{

    flow_frequency++;

}

void setup()

{

    Serial.begin(9600);

    //Pines de las Valvulas en modo Salida

    pinMode(Valvula1, OUTPUT);

    pinMode(Valvula2, OUTPUT);

    pinMode(Valvula3, OUTPUT);

    pinMode(Valvula4, OUTPUT);

    //Boton de encoder en modo entrada

    pinMode(sw, INPUT_PULLUP);

    //

    pinMode(flowsensor, INPUT);

```

```

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowsensor), flow, RISING); // Setup Interrupt

currentTime = millis();

cloopTime = currentTime;

//lcd.init();

lcd.init();    //Iniciar pantalla Lcd

lcd.backlight(); //Enciende la luz de pantalla

menu.init(); //Inicializa el menu

        //Indica la posicion de la Flecha

linea1.set_focusPosition(Position::LEFT);

linea2.set_focusPosition(Position::LEFT);

linea3.set_focusPosition(Position::LEFT);

linea4.set_focusPosition(Position::LEFT);

//Asignar a cada linea la funcion que se ejecutara cuando se seleccione

linea1.attach_function(1, AUTOMATICO);

linea2.attach_function(1, BLUETOOTH);

linea3.attach_function(1, PORCAUDAL);

linea4.attach_function(1, TEST);

//Añade la pantalla al menu

menu.add_screen(pantalla1);

//Indica la posicion de la Flecha

linea1_2.set_focusPosition(Position::LEFT);

```

```

linea3_2.set_focusPosition(Position::LEFT);

//Asignar a cada linea la funcion que se ejecutara cuando se seleccione

linea1_2.attach_function(1, fn_on);

linea3_2.attach_function(1, REGRESARMENU);

menu.add_screen(pantalla2);

//Cantidad de filas de la pantalla 16x02

pantalla1.set_displayLineCount(2);

pantalla2.set_displayLineCount(2);

menu.set_focusedLine(0);

//Actualiza el menu

menu.update();

}

void loop()

{

//Controla el boton del encoder

selectOption();

//Identifica el sentido de giro del encoder

aState = digitalRead(outputA);

if (aState != aLastState) {

if (digitalRead(outputB) != aState) {

menu.switch_focus(false);

```

```

    } else {
        menu.switch_focus(true);
    }

    menu.update();

    aLastState = aState;
}

}

//Funciones:::::

void selectOption() {

    if (digitalRead(sw) == LOW) {

        menu.call_function(1);

        delay(500);

    }

}

void AUTOMATICO() {

    menu.change_screen(2);

    menu.set_focusedLine(0);

    led_seleccionado = 1;

}

void BLUETOOTH() {

    menu.change_screen(2);

```

```

    menu.set_focusedLine(0);

    led_seleccionado = 2;
}

void PORCAUDAL() {

    menu.change_screen(2);

    menu.set_focusedLine(0);

    led_seleccionado = 3;
}

void TEST() {

    menu.change_screen(2);

    menu.set_focusedLine(0);

    led_seleccionado = 0;
}

void fn_on() {

    switch (led_seleccionado) {

        case 1:

            while (conditionW) {

                digitalWrite(Valvula1, HIGH);

                delay(7200000);

                digitalWrite(Valvula1, LOW);

                delay(500);

```

```

digitalWrite(Valvula2, HIGH);

delay(7200000);

digitalWrite(Valvula2, LOW);

delay(500);

digitalWrite(Valvula3, HIGH);

delay(7200000);

digitalWrite(Valvula3, LOW);

delay(500);

digitalWrite(Valvula4, HIGH);

delay(7200000);

digitalWrite(Valvula4, LOW);

delay(500);
}

break;

case 2:

while (conditionW) {

    if (Serial.available() > 0) { // Decimos que si, estado es mayor a 0

        estadob = Serial.read(); // Estado es igual a la variable

    }

    if (estadob == 'a') { // Si estado es igual a la variable "a", o en esta
situación al presionar el botón con la variable "a"

        digitalWrite(Valvula1, HIGH);

```



```

}

if (estadob == 'b') {

    digitalWrite(Valvula1, LOW);

}

if (estadob == 'c') {

    digitalWrite(Valvula2, HIGH);

}

if (estadob == 'd') {          // Si estado es igual a la variable "b", o en esta
situación al presionar el botón con la variable "b".

    digitalWrite(Valvula2, LOW); // El pin 13 deberá apagar

}

if (estadob == 'e') {

    digitalWrite(Valvula3, HIGH);

}

if (estadob == 'f') {        // Si estado es igual a la variable "b", o en esta situación
al presionar el botón con la variable "b".

    digitalWrite(Valvula3, LOW); // El pin 13 deberá apagar

}

if (estadob == 'g') {

    digitalWrite(Valvula4, HIGH);

}

```

```
    if (estadob == 'h') {           // Si estado es igual a la variable "b", o en esta
situación al presionar el botón con la variable "b".
```

```
        digitalWrite(Valvula4, LOW); // El pin 13 deberá apagar
```

```
    }
```

```
}
```

```
//
```

```
case 3: // Por caudalimetro
```

```
while (conditionW){
```

```
    currentTime = millis();
```

```
// Every second, calculate and print litres/hour
```

```
if(currentTime >= (cloopTime + 1000))
```

```
{
```

```
    cloopTime = currentTime; // Updates cloopTime
```

```
    if(flow_frequency != 0)
```

```
{
```

```
        L_minute = (flow_frequency / 6.6); // (Pulse frequency x 60 min) / 7.5Q = flowrate
in L/hour
```

```
        lcd.clear();
```

```
        lcd.setCursor(0,0);
```

```
        lcd.print("Rate: ");
```

```
        lcd.print(L_minute);
```

```
        lcd.print(" L/Min");
```

```

l_minute = l_minute/60;

lcd.setCursor(0,1);

vol = vol +l_minute;

lcd.print("VolT:");

lcd.print(vol);

lcd.print(" L");

flow_frequency = 0; // Reset Counter
}

else {

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("Flujo: ");

lcd.print( flow_frequency );

lcd.print(" L/Min");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("VolT:");

lcd.print(vol);

lcd.print(" L");

digitalWrite(Valvula1, HIGH);

}

if ( vol >= 600){

```

```
digitalWrite(Valvula1, LOW);  
digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
}  
if (vol >= 1600) {  
digitalWrite( Valvula2, LOW);  
digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
}  
if (vol >= 2000) {  
digitalWrite( Valvula3, LOW);  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
}  
if ( vol >= 2600) {  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
}  
if ( vol >= 2600) {  
vol = 0;  
}  
}
```

case 0:

```
digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula1, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula3, LOW);  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula1, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula3, LOW);
```

```
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
////////////////////Arreglo  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula4, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula4, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula3, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula3, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula2, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula2, LOW);  
  
delay(testlow);  
  
digitalWrite(Valvula1, HIGH);  
  
delay(testhigh);  
  
digitalWrite(Valvula1, LOW);
```

```
delay(testlow);

digitalWrite(Valvula1, HIGH);

digitalWrite(Valvula2, HIGH);

digitalWrite(Valvula3, HIGH);

digitalWrite(Valvula4, HIGH);

delay(testhigh);

digitalWrite(Valvula1, LOW);

digitalWrite(Valvula2, LOW);

digitalWrite(Valvula3, LOW);

digitalWrite(Valvula4, LOW);

delay(testlow);

digitalWrite(Valvula1, HIGH);

digitalWrite(Valvula2, HIGH);

digitalWrite(Valvula3, HIGH);

digitalWrite(Valvula4, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite(Valvula1, LOW);

digitalWrite(Valvula2, LOW);

digitalWrite(Valvula3, LOW);

digitalWrite(Valvula4, LOW);

}
```

```
}  
  
void REGRESARMENU() {  
    menu.change_screen(1);  
}
```

Fuente: Elaboración propia

8.3 Diseño la etapa de potencia por medio de módulos MOSFET

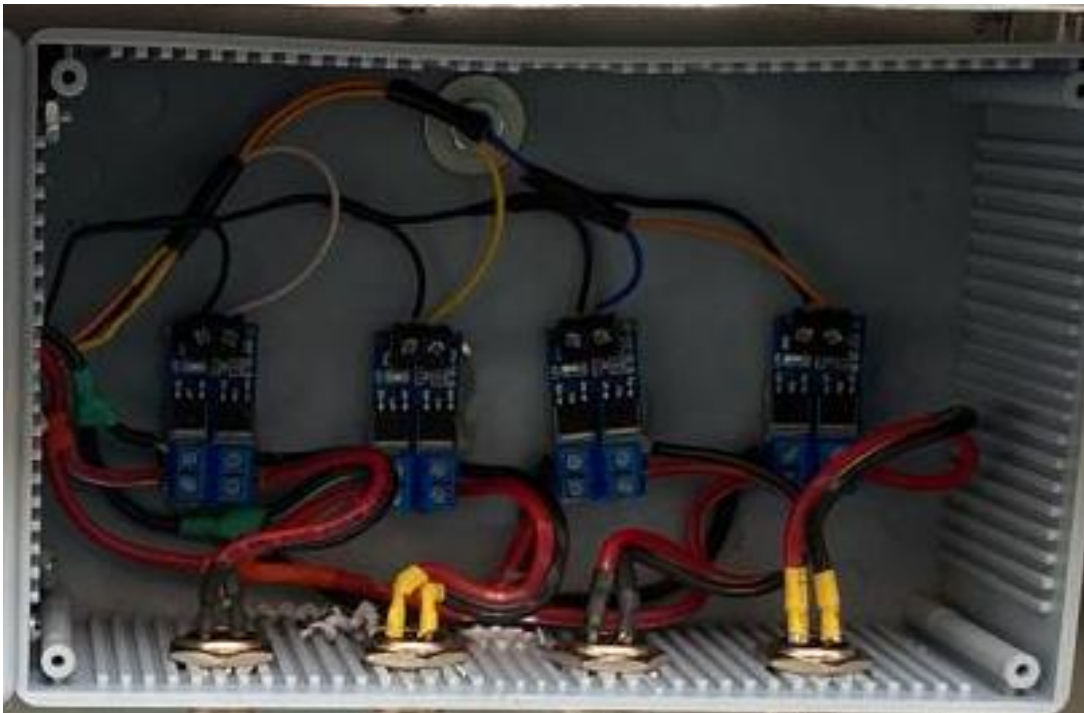


Figura 54 Arnés eléctrico y Mosfets

Fuente: Elaboración propia

8.4 Aplicación para el control bluetooth por medio de MITApp Inventor

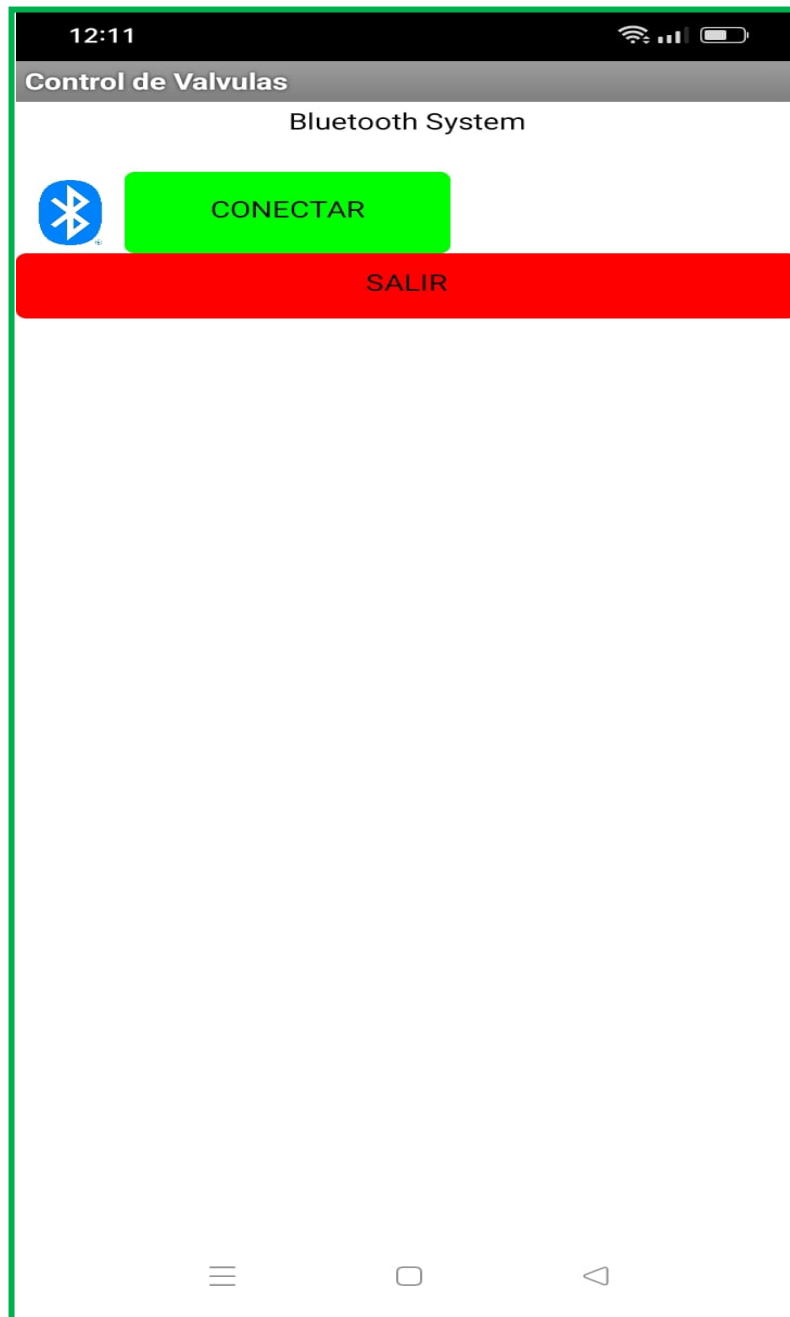


Figura 55 Aplicación Android sin conectar al sensor HC-05

Fuente: Elaboración propia

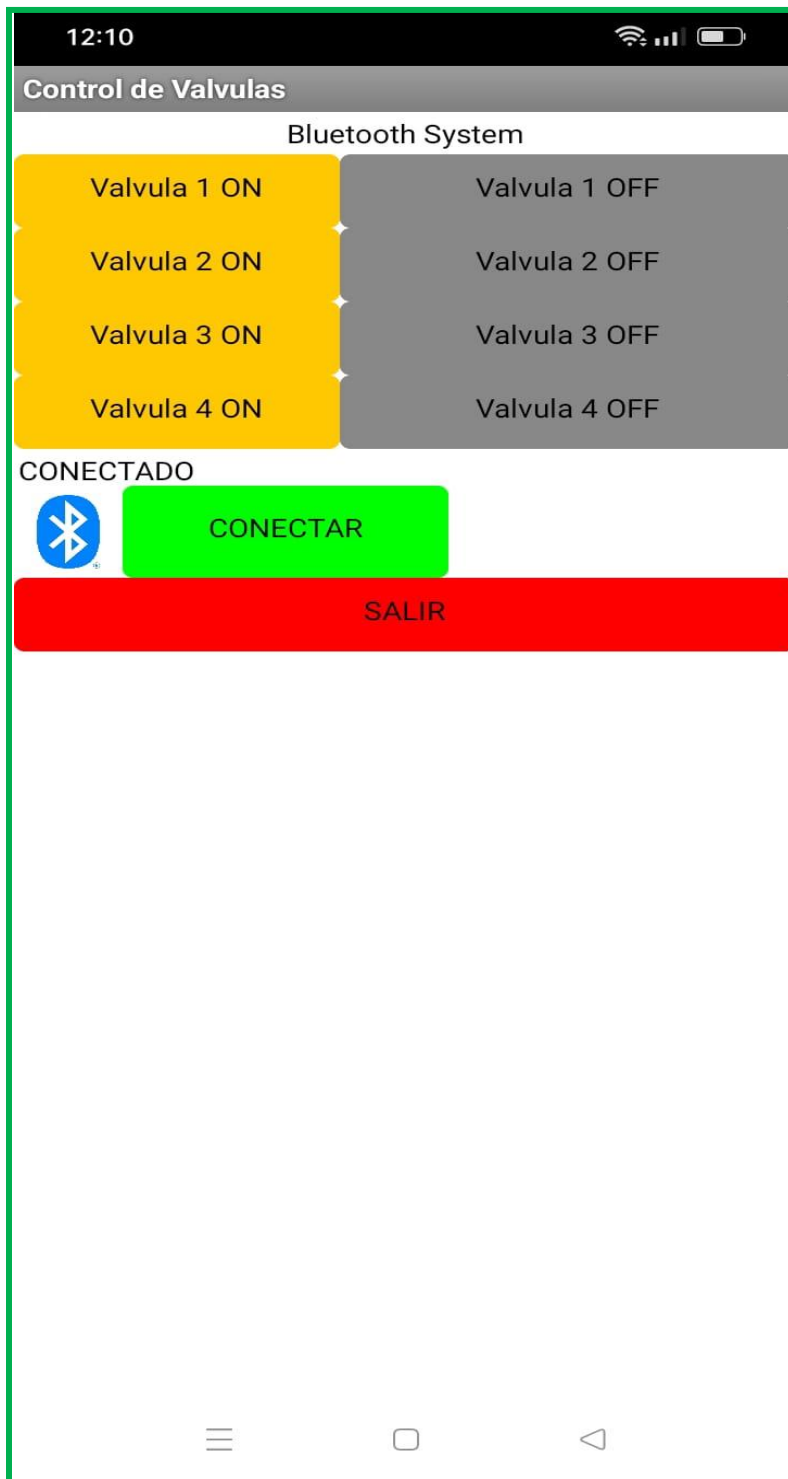


Figura 56 Aplicación Android conectada a HC-05

Fuente: Elaboración propia

8.5 Sistema Fotovoltaico Autónomo

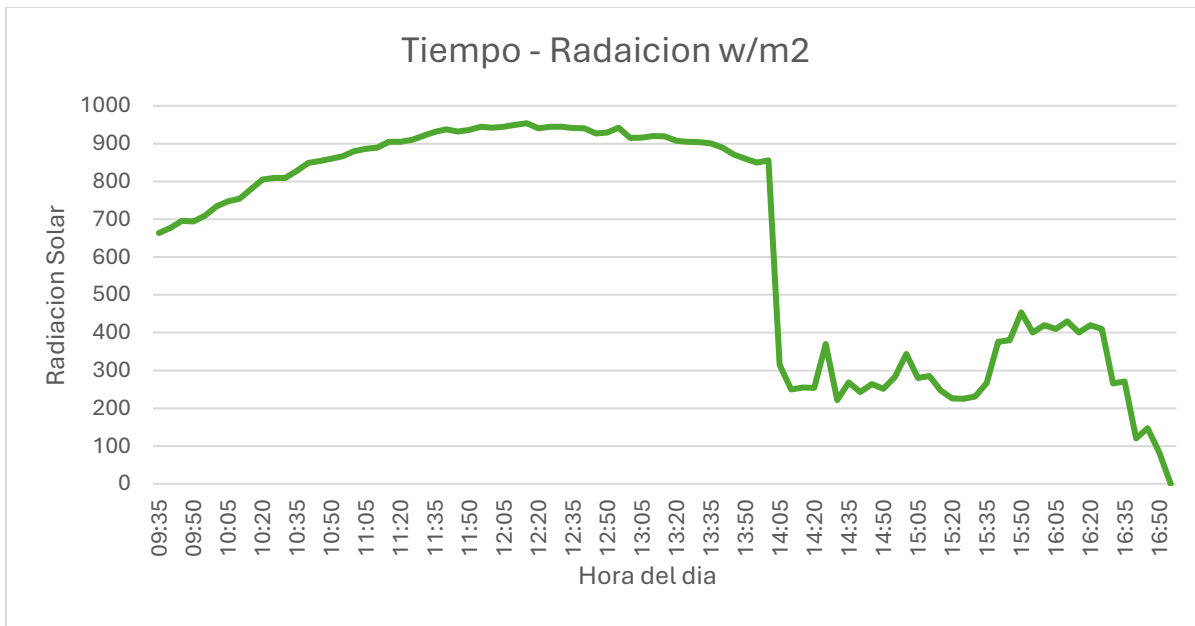


Gráfico 1 Tiempo – Radiación

Fuente: Elaboración propia

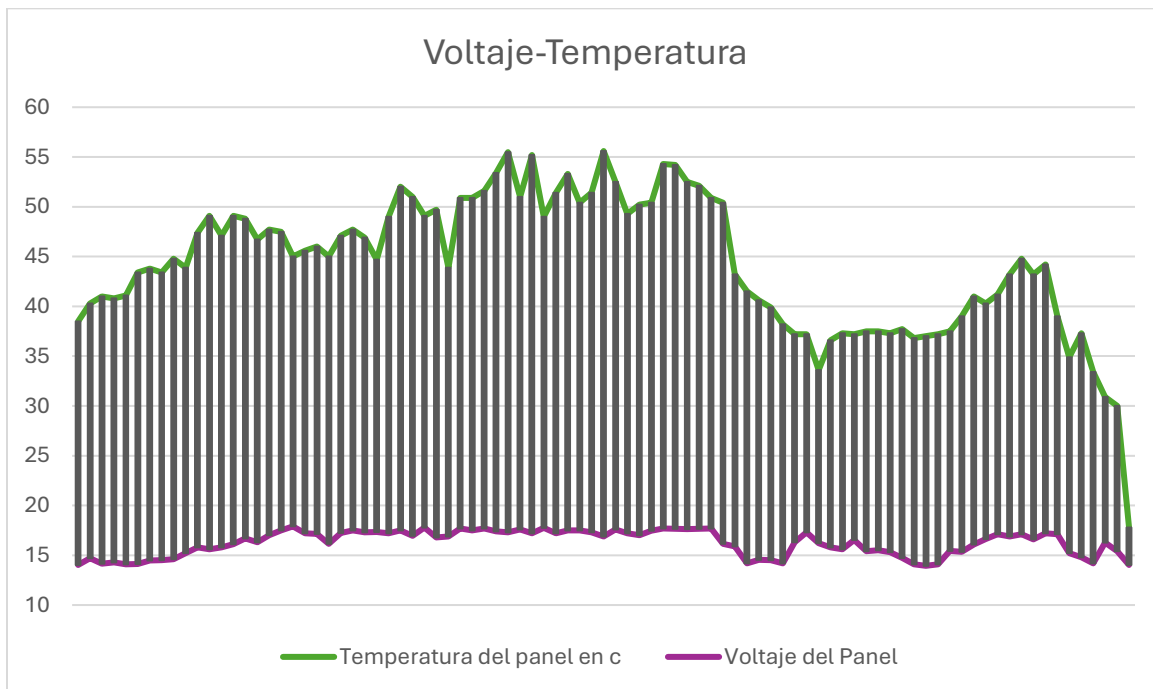


Gráfico 2 Temperatura y voltaje del panel Fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

8.6 Construcción del prototipo

El prototipo final cumple con el diseño integral como se propuso desde un principio, en el cual en un solo modulo se encuentra etapa de control, etapa de potencia, electroválvulas y sistema fotovoltaico autónomo.

8.7 Validar el funcionamiento del sistema bajo circunstancias de operación normal



Figura 57 Pruebas de funcionamiento Campo Experimental Tlapeaxco

Fuente: Elaboración propia

En el campo experimental Tlapeaxco de la Universidad Autónoma Chapingo, se realizaron pruebas de funcionamiento tanto del sistema fotovoltaico, como del sistema de electroválvulas utilizando agua proveniente de un tinaco.



Figura 58 Pruebas de funcionamiento Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan

Fuente: Elaboración propia

En el Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan se realizaron mediciones de radiación solar y pruebas del sistema fotovoltaico autónomo, estas mediciones se utilizaron para la realización de graficas.

8.8 Diagrama eléctrico

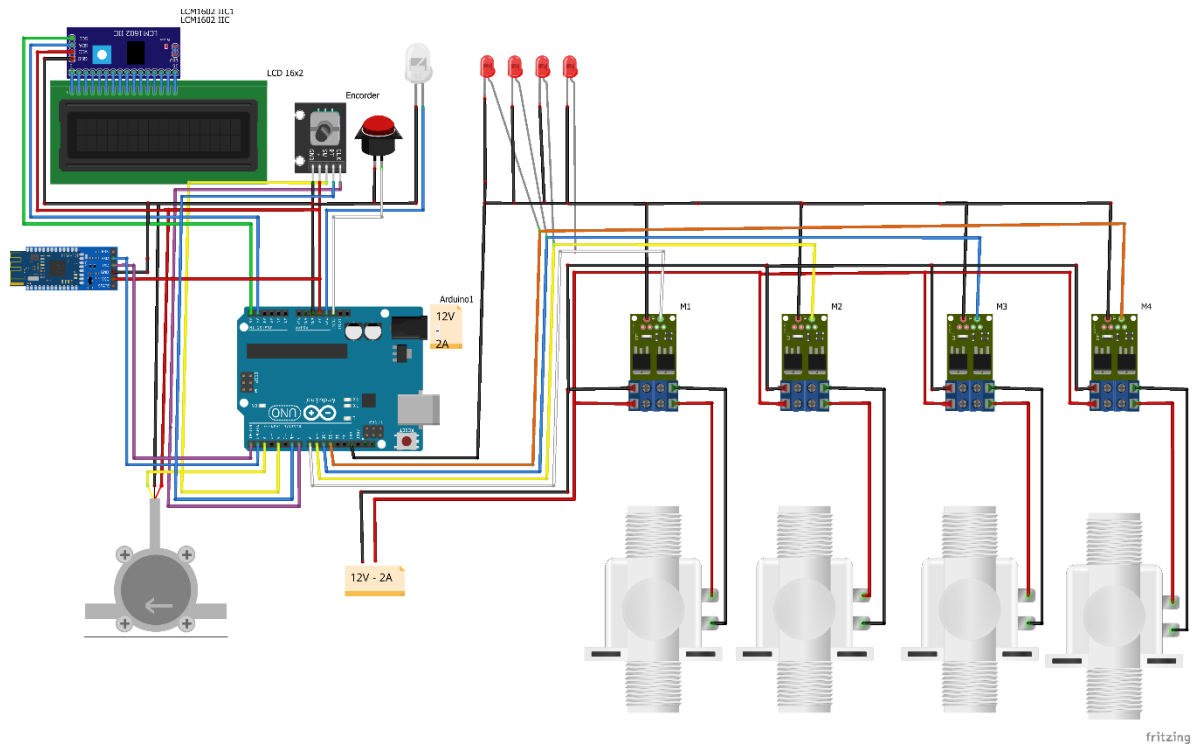


Figura 59 Diagrama eléctrico del prototipo

Fuente: Elaboración propia

El diagrama eléctrico del prototipo se elaboró con la finalidad de entender de manera clara y grafica las conexiones que se realizaron para su correcto funcionamiento.

8.8 Sobre la discusión

Analizando los objetivos propuestos al inicio y observando los resultados podemos determinar que se logró cumplir cada uno de los objetivos propuestos en un inicio.

- Primeramente, los materiales seleccionados para la realización de este prototipo fueron los adecuados para las condiciones climáticas del Estado de México, cabe resaltar que el Estado de México tiene un clima muy variable por lo que el prototipo estuvo expuesto a temperaturas altas, lluvias fuertes y viento, esto del mes de Abril a Julio, El PTR que se utilizo es un material resistente además la capa de pintura aplicada proporciona una protección mayor, hasta la fecha no existen rastros de oxido tanto en el PTR como en las Soldaduras que unen el prototipo, los gabinetes realizados de Aluminio no presentan filtraciones de agua y polvo a la parte interior donde se encuentra la etapa de control, etapa de potencia, sistema fotovoltaico, El silicón puesto en las uniones de los gabinetes presentan una opción viable a la hora de realizar los gabinetes herméticos.

Ninguno de los arneses eléctricos que conectan el gabinete de control con el sistema de electroválvulas se encuentran expuestos a la intemperie por lo cual los cables se encontraran operando con normalidad un mayor tiempo en comparación con literatura revisada en el artículo publicado por Nivetha M., Sundaresan en el año 2017, en la cual los arneses eléctricos se encontraban expuestos a la intemperie y sin protección mayor, más que el aislante de los cables de fábrica.

-La etapa de control que se realizó mediante el Arduino UNO, sensores y LCD 16x2 funcionaron durante la etapa de prueba sin presentar fallas de funcionamiento y sin la necesidad de resetear el prototipo, lo cual habla de la fidelidad de los componentes utilizados.

También es importante mencionar que el usar el display de 16x2 y el botón de selección la interacción entre el usuario y la etapa de control es más sencilla, pues el usuario puede identificar de manera clara y precisa el modo que quiera utilizar de distribución de agua, además de que el display 16x2 en el modo caudalímetro mostrara datos en tiempo real la cantidad de litros que son distribuidos por minuto

y los litros totales de distribución, sin embargo al final la distribución de las 4 electroválvulas el valor de los litros regresara a cero.

El código principal de operación puede ser modificado para ajustar el número de habitantes o la cantidad de litros que se necesitan distribuir por cada casa, cabe mencionar que esto se podrá lograr modificando el código desde una computadora esto con el fin de evitar que una persona externa tenga acceso a la modificación de los valores de distribución.

La etapa de control muestra una interfaz intuitiva que cualquier persona puede utilizar sin algún inconveniente.

Un punto de investigación de la etapa de control es la utilización de algún dispositivo que permita controlar y monitorear valores desde la red como el ESP 32 que cuenta con antenas wifi y bluetooth incluidas en la placa, en este caso se descarta la posibilidad porque este prototipo está pensado para lugares donde no existe conexión wi-fi.

-La etapa de potencia controlada por medio de los mosfet modelo D8284 no presento fallas del funcionamiento además de ser un dispositivo silencioso en comparación de los relevadores convencionales que además de generar ruido tienen partes móviles, que estas con el uso presentan deterioro o chispeos dentro de los relevadores, lo cual genera mal funcionamiento de operación y el reemplazo de las piezas, por ello los mosfet fueron una opción para evitar los ruidos, chispeos y reemplazo de las piezas pues los mosfet no cuentan con partes móviles que se deterioren por ello alarga la vida útil de la etapa de potencia.

Además de que los mosfet que se utilizaron pueden controlar una potencia de hasta 400w de corriente alterna, existe la posibilidad de instalar electroválvulas de mayor consumo que permitan mayor paso de agua.

También existe la posibilidad de diseñar una tarjeta de control en la cual se integren los mosfet lo que hará que la etapa de control ocupe menos espacio, pero realice las mismas funciones, sin embargo, no es viable por si en algún momento se tiene

daño en algún mosfet con el modelo utilizado en este prototipo se puede reemplazar solo el mosfet dañado, pero si se diseña he instala la tarjeta de mosfet y se daña un mosfet se tendría que reemplazar toda la tarjeta.

-La aplicación Android es una interfaz fácil de utilizar además de ser una aplicación que puede utilizarse en dispositivos Android antiguos como en dispositivos actuales, es una aplicación ligera la cual no ocupa mucho espacio de almacenamiento.

Dentro de su función principal es abrir y cerrar las electroválvulas en cualquier momento, esta aplicación se le asigno el nombre de BLUE, al querer abrir la aplicación pedirá permisos para acceder a los dispositivos bluetooth si son concedidos dejara seleccionar el módulo HC-05 y posteriormente desplegara las electroválvulas para poder controlarlas, en el caso de que un dispositivo bluetooth se encuentre conectado, no permitirá que otro más se conecte esto con la finalidad de evitar que personas ajenas puedan operar las electroválvulas.

Un área de investigación dentro de la aplicación para el control de las electroválvulas es la posibilidad de poder controlarlas mediante dispositivos IOS, durante la puesta en marcha de este prototipo se utilizó un módulo BLE hm-10 pero el control de las electroválvulas no se realizaba de manera correcta.

El sistema fotovoltaico cumple con las condiciones de autonomía de 5 días lo cual es perfecto para las temporadas donde no tenemos la máxima radiación solar disponible, dentro de las pruebas que se realizaron en el prototipo y con los datos obtenidos podemos observar que para la fecha 17 de mayo del 2024 se obtuvo el valor máximo de radiación de 954 W/m² a las 12:15 pm y el valor mínimo de radiación de 0 W/m² a las 16:55 pm, Como se puede observar en las gráficas aunque la temperatura del panel supero los 60 grados Celsius el voltaje siempre se encontró entre los 17.9 V máximo y los 13.94 V, eso indica que la producción fotovoltaica se encuentra en óptimas condiciones y que la batería se cargara a la perfección, en general el sistema fotovoltaico opera con normalidad.

Un punto de investigación del sistema fotovoltaico sería la monitorización de datos por medio de la red para conocer más a detalle cómo se encuentra la producción de energía fotovoltaica del panel y el consumo del prototipo

-En la construcción del prototipo se cuidaron todos y cada uno de los detalles para realizar un prototipo funcional, duradero y que cuente con un buen aspecto visual.

Cuidado desde los detalles de soldadura hasta el acomodo correcto del arnés para tener un prototipo limpio y además fácil de manipular a la hora de reemplazar alguna pieza. Además de ser un dispositivo hermético que evite que el polvo y agua dañe los componentes, cuidando detalles de seguridad como el acceso a las etapas de control y sistema fotovoltaico y utilizando una manguera metálica recubierta de plástico elástico para proteger los cables.

Pruebas de funcionamiento, al prototipo se le realizaron varias pruebas de funcionamiento dentro del Campo Experimental Tlapeasco, perteneciente al departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, en el cual el prototipo se puso en marcha probando todos sus modos de funcionamiento además poniendo a prueba el sistema fotovoltaico y el sistema de distribución utilizando un escenario donde el prototipo se ajustó para regar cuatro árboles cabe mencionar que estas pruebas se realizaron con agua para verificar la buena apertura y cierre de las electroválvulas, además estas pruebas sirvieron para ajustar el error que se generaba en el modo caudalímetro.

El dispositivo se dejaba trabajando 24 horas continuas sin importar el clima, esto con la finalidad de realizar pruebas lo más cercanas a lo que el dispositivo se encontrara si se utilizara para distribución en las regiones de México y lo que permitió determinar su durabilidad.

En el tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan se puso en marcha el prototipo sin utilizar agua esto con la finalidad de evitar el desperdicio de agua, las pruebas realizadas fueron enfocadas al sistema fotovoltaico.

-El diagrama eléctrico se realiza con la finalidad de conocer como están conectados los componentes y de esta manera poder analizar alguna falla que se llegara a presentar, además de servir para conocer que piezas pueden ser remplazadas y si son reemplazadas ser una guía para la instalación de la nueva pieza.

9. Conclusiones

El prototipo de distribución de agua utilizando un sistema autónomo es una alternativa viable para reducir el desperdicio de agua además de ofrecer una distribución de agua eficiente y equitativa, y aunque su aplicación principal es distribuir agua a los hogares, este prototipo cuenta con una versatilidad que le permite ser utilizado en otros escenarios como la agricultura, ganadería e industria.

En comparación con la literatura consultada obtenemos un prototipo integral y duradero lo cual no se encontraba en prototipos caseros elaborados en la demás literatura, este prototipo presenta un aspecto industrial.

Cabe resaltar que no se encontró literatura de un dispositivo que utilice la distribución de agua y la energía fotovoltaica autónoma, en este prototipo se logró ensamblar ambas tecnológicas, además de utilizar un dispositivo Android para el control de las electroválvulas.

Además de ser un prototipo que cuenta con piezas existentes en el mercado y fáciles de encontrar, lo cual permite que cuando el mantenimiento del dispositivo sea necesario se podrán encontrar las piezas.

Se comprueba la hipótesis de poder diseñar y realizar un sistema que sea capaz de distribuir agua por medio de 4 electroválvulas, y se reafirma que ayuda a la escases de agua además de la distribución eficiente, si bien este dispositivo está pensado para las zonas rurales es un gran paso para pensar en el diseño de un prototipo que se pueda utilizar en las grandes ciudades de México y el mundo.

Los objetivos propuestos al principio se lograron cumplir de manera satisfactoria además de obtener grandes resultados tanto intangibles como tangibles.

10 Referencias

- [1] A. Hemrajan, B. Patel, y A. Shreeji Sheth, "Automatic Water Distribution System Using Arduino UNO".
- [2] C. Andrés López Luis Zambrano Rafael Ruiz Ortega María Alicia Guzmán Rosario Pérez Espejo Ricardo Sandoval Gonzalo Hatch Kuri Nicolás Pineda Pablos Raúl Pacheco-Vega Alex Caldera, "El agua en México".
- [3] "En México 12 millones de personas carecen de acceso a agua potable". Consultado: el 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/En-Mexico-12-millones-de-personas-carecen-de-acceso-a-agua-potable-20230322-0009.html>
- [4] "El derecho humano al agua y al saneamiento".
- [5] "¿Quiénes desperdician más? | Dapa". Consultado: el 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dapa.gob.mx/quienes-desperdician-mas-agua-en-mexico>
- [6] "Situacion-del-agua-en-Mexico-1".
- [7] ELECTRONICA AG, "UNO-R3/ATMEGA328", 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.agelectronica.com><http://www.agelectronica.com><http://www.agelectronica.com>
- [8] "fm_Ch03_mfuentesm".
- [9] R. C. Ramírez Estrada, A. L. Hernández-Sánchez, A. L. Hernández-Sánchez, D. A. Aguilar-Díaz, y J. M. Pérez-Sánchez, "Sensores y tipos de sensores", *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, vol. 11, núm. 21, pp. 50–52, ene. 2024, doi: 10.29057/estr.v11i21.11779.
- [10] "Módulo bluetooth HC-05 y HC-06 Arduino – Arca Electrónica". Consultado: el 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/modulo-bluetooth-hc-05-y-hc-06-arduino>

- [11] “Caudalímetros: Tipos, funciones y aplicaciones | Distrón®”. Consultado: el 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://distron.es/caudalimetros-tipos-funciones-aplicaciones/>
- [12] P. F. Leonardo Mercado Página, “E.P.E.T. N°7-Diseño y Dimnto. de Componentes, Equipos y Sistemas II-6° 1° ENERGIA”.
- [13] Gustavo Galvan, “Lo que debes saber sobre los conectores MC4 - CCEEA”. Consultado: el 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cceeex.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/lo-que-debes-saber-sobre-los-conectores-mc4>
- [14] “Características eléctricas de los paneles solares | Venta online placas | Tecnosol”. Consultado: el 28 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>
- [15] Heliosfera, “Qué significan las siglas STC y NOCT? - HelioEsfera”. Consultado: el 10 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.helioesfera.com/que-significan-las-siglas-stc-y-noct/>
- [16] O. Perpiñán *et al.*, “Sistemas Fotovoltaicos Autónomos”. [En línea]. Disponible en: <http://oscarperpnan.github.io>
- [17] A. Madrid Cenzano, *Formación profesional en energías renovables: con ejercicios prácticos resueltos* /, Primera edición. AMV ediciones, 2015.
- [18] Paul Stackhouse y Ph. D. Jr., “NASA”, Data Acces VIEWER.
- [19] “Ubicación, orientación e inclinación de paneles solares en México”. Consultado: el 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://solarama.mx/blog/inclinacion-de-paneles-solares-en-mexico/>

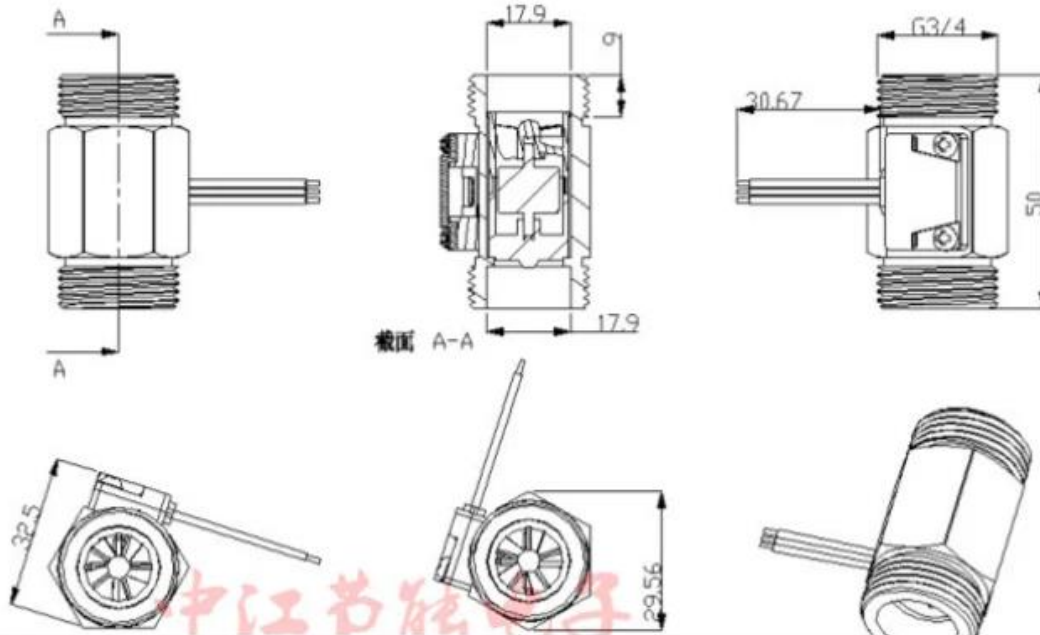
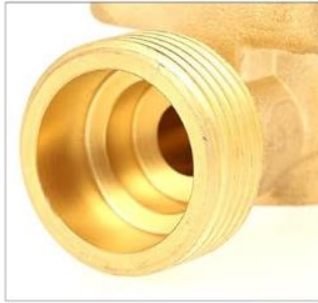
Anexos

Placa Arduino UNO rev. 3

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión operativa	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (límite)	6 - 20V
Puertos E/S digitales	14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
Puertos digitales para PWM	6: pines 3, 5, 6, 9, 10 y 11. 8 bits (emulan una salida analógica, 0/5V a 490MHz, excepto pines 6 y 9 a 980 MHz).
Puertos de entrada analógicos	6 (0 – 5V ADC 10 bits)
Corriente para puertos E/S a 5 V	20 mA
Corriente para puertos E/S a 3,3 V	50 mA
Memoria FLASH (Programa)	32 KB (ATmega328P) (0,5 kB reservada para cargador de arranque (Bootloader OptiBoot))
Memoria SRAM (Datos)	2 KB (ATmega328P)
Memoria EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Frecuencia de reloj	16 MHz
Led en placa	Pin 13
Largo	68,6 mm
Ancho	53,4 mm
Peso	25 g

© todotecnologia-eso.blogspot.com.es

Anexo 1 Ficha técnica Arduino UNO



DC Rated voltage = 5V test

- 1 Appearance clear product identification, accurate compliance
- 2 Water pressure resistance > 1.75MPa
- 3 DC5 ~ 15V operating voltage range
- 4 Insulation resistance > 100M Ω
- 5 Accuracy (in 1 ~ 30L \ MIN) \pm 10%
- 6 flow pulse characteristics (6.6 * Q) Q = L / Min \pm 3%
- 7 outputs high pulse > DC 4.7V (input voltage DC 5V)
- 8 Output Pulse Low
- 9 output pulse duty cycle of 50% \pm 10%
- 10 Flow range 1-30L / min

Anexo 2 Dimensiones y ficha técnica caudalímetro

AOD4184A

40V N-Channel MOSFET

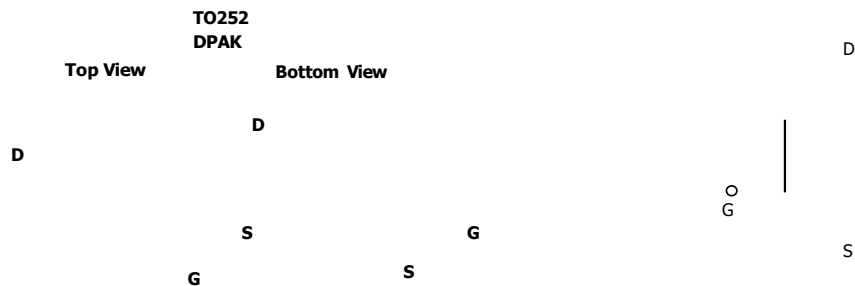
General Description

The AOD4184A combines advanced trench MOSFET technology with a low resistance package to provide extremely low $R_{DS(ON)}$. This device is well suited for high current load applications.

Product Summary

V_{DS}	40V
I_D (at $V_{GS}=10V$)	50A
$R_{DS(ON)}$ (at $V_{GS}=10V$)	$< 7m\Omega$
$R_{DS(ON)}$ (at $V_{GS} = 4.5V$)	$< 9.5m\Omega$

100% UIS Tested
100% Rg Tested



Absolute Maximum Ratings $T_A=25^\circ C$ unless otherwise noted

Parameter	Symbol	Maximum	Units
Drain-Source Voltage	V_{DS}	40	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	V
Continuous Drain Current ^G	I_D	$T_C=25^\circ C$	A
		$T_C=100^\circ C$	
Pulsed Drain Current ^C	I_{DM}	120	
Continuous Drain Current	I_{DSM}	$T_A=25^\circ C$	A
		$T_A=70^\circ C$	
Avalanche Current ^C	I_{AS}, I_{AR}	35	A
Avalanche energy $L=0.1mH$ ^C	E_{AS}, E_{AR}	61	mJ
Power Dissipation ^B	P_D	$T_C=25^\circ C$	W
		$T_C=100^\circ C$	
Power Dissipation ^A	P_{DSM}	$T_A=25^\circ C$	W
		$T_A=70^\circ C$	
Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to 175	$^\circ C$

Thermal Characteristics

Parameter	Symbol	Typ	Max	Units
Maximum Junction-to-Ambient ^A	$R_{\theta JA}$	18	22	$^\circ C/W$
Maximum Junction-to-Ambient ^{A, D}		Steady-State	44	55
Maximum Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	2.4	3	$^\circ C/W$

Electrical Characteristics ($T_J=25^\circ C$ unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
STATIC PARAMETERS						
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$I_D=250\mu A, V_{GS}=0V$	40			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS}=40V, V_{GS}=0V$ $T_J=55^\circ C$			1	μA
					5	
I_{GSS}	Gate-Body leakage current	$V_{DS}=0V, V_{GS}=\pm 20V$			± 100	nA
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$	1.7	2.1	2.6	V
$I_{D(ON)}$	On state drain current	$V_{GS}=10V, V_{DS}=5V$	120			A
$R_{DS(ON)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS}=10V, I_D=20A$ $T_J=125^\circ C$		5.8	7	$m\Omega$
				9.6	12	
		$V_{GS}=4.5V, I_D=15A$		7.6	9.5	$m\Omega$
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{DS}=5V, I_D=5A$		37		S
V_{SD}	Diode Forward Voltage	$I_S=1A, V_{GS}=0V$		0.7	1	V
I_S	Maximum Body-Diode Continuous Current				20	A
DYNAMIC PARAMETERS						
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{GS}=0V, V_{DS}=20V, f=1MHz$	1200	1500	1800	pF
C_{oss}	Output Capacitance		150	215	280	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance		80	135	190	pF
R_g	Gate resistance	$V_{GS}=0V, V_{DS}=0V, f=1MHz$	2	3.5	5	Ω
SWITCHING PARAMETERS						
$Q_g(10V)$	Total Gate Charge	$V_{GS}=10V, V_{DS}=20V, I_D=20A$	21	27	33	nC
$Q_g(4.5V)$	Total Gate Charge		10	14	17	nC
Q_{gs}	Gate Source Charge		3	5	6	nC
Q_{gd}	Gate Drain Charge		3	6	9	nC
$t_{D(on)}$	Turn-On DelayTime	$V_{GS}=10V, V_{DS}=20V, R_L=1\Omega,$ $R_{GEN}=3\Omega$		6		ns
t_r	Turn-On Rise Time			17		ns
$t_{D(off)}$	Turn-Off DelayTime			30		ns
t_f	Turn-Off Fall Time			17		ns
t_{rr}	Body Diode Reverse Recovery Time	$I_F=20A, di/dt=100A/\mu s$	20	29	38	ns
Q_{rr}	Body Diode Reverse Recovery Charge	$I_F=20A, di/dt=100A/\mu s$	18	26	34	nC

Anexo 3 Características y especificaciones del chip del mosfet

Especificaciones

Radiación	
Rango de medida	0 a 1400 W/m ²
Resolución	1 W/m ²
Exactitud de medida	± (5% + 5 dígitos)
Medida de temperatura	
Intervalo de medida (°C)	-30 °C a 100 °C (-22 °F a 212 °F)
Resolución	0,1 °C (0,2 °F / 1 °F a >100 °F)
Exactitud de medida	±1 °C (±2 °F) de -10 °C a 75 °C (14 °F a 167 °F) ±2 °C (±4 °F) de -30 °C a -10 °C (-22 °F a 14 °F) y 75 °C a 100 °C (167 °F a 212 °F)
Nota: Tiempo de respuesta de la medida de temperatura: -30 s	
Ángulo de inclinación	
Rango de medida	-90° a +90°
Resolución	0,1°
Exactitud de medida	±1,5° de -50° a +50°, ±2,5° de -85° a -50° y de +50° a +85° ±3,5° de -90° a -85° y de +85° a +90°
Software	
Rango de medida	0° a 360°
Resolución	1°
Exactitud de medida	± 7°
Nota: a) Medidas válidas para un dispositivo con una inclinación de -20° a +20° respecto a la línea horizontal. Fuera de ese rango, la pantalla LCD mostrará '----'. b) El resultado se denomina norte magnético.	
Temperatura	
Temperatura de funcionamiento del IRR1-SOL	-20 °C a 50 °C (humedad <80%), sin condensación
Temperatura de funcionamiento del 80PR-IRR	-30 °C a 100 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 °C a 60 °C (humedad <80%)
Altitud	0 m a 2000 m máx.
Compatibilidad electromagnética (CEM)	
Internacional	IEC 61326-1: Entorno electromagnético portátil CISPR 11: Grupo 1, clase A Grupo 1: El equipo ha generado intencionalmente energía o utiliza energía de frecuencia de radio de carga acoplada conductora que es necesaria para la función interna del equipo. Clase A: El equipo es adecuado para su uso en todos los ámbitos a excepción del doméstico y aquellos que estén directamente conectados a una red de suministro eléctrico de baja tensión que proporcione corriente eléctrica a edificios utilizados para fines domésticos. Podrían existir posibles dificultades para garantizar la compatibilidad electromagnética en otros entornos debido a las perturbaciones conducidas y radiadas.

Anexo 4 Ficha técnica del medidor de radiación solar

Características

	83V	87V
Medidas de Verdadero Valor Eficaz en tensión y corriente		●
Ancho de banda (tensión/corriente)	5 kHz	20 kHz
Resolución digital (predeterminada/seleccionable)	6000	20000 / 6000
Filtro seleccionable para medidas precisas de frecuencia y tensión en motores de velocidad variable		●
Pantalla grande con barra gráfica analógica y retroiluminación de dos niveles	●	●
Selección manual y automática de rangos	●	●
Termómetro incorporado		●
Captura de picos de hasta 250 µs		●
Modo relativo para compensar la resistencia de las puntas de prueba	●	●
Registro de valores mínimos, máximos y promedio con alarma de mínimos y máximos	●	●
Touch Hold® para captura automática de medidas en pantalla	●	●
Comprobación de continuidad con señal acústica, comprobación de diodos y ciclo de trabajo	●	●
Alarma de conexión de entrada incorrecta	●	●
Diseño "clásico" con nueva funda extraíble y compartimento trasero para almacenamiento de puntas y cables de prueba	●	●
Modo "en espera" seleccionable mejorado para alargar la vida útil de las baterías	●	●
Fácil cambio de baterías y fusibles sin necesidad de abrir todo el alojamiento	●	●

Especificaciones (visite la página Web de Fluke para obtener especificaciones detalladas)

Funciones	Rango máximo	83V		87V*	
		Mín. resolución	Precisión	Mín. resolución	Precisión
Tensión CC	1.000 V	0,1 mV	± (0,1% + 1)	10 µV	± (0,05% + 1)
Tensión CA	1.000 V	0,1 mV	± (0,5% + 2)	10 µV	± (0,7% + 2)
Corriente CC	10 A **	0,1 µA	± (0,4% + 2)	0,01 µA	± (0,2% + 2)
Corriente CA	10 A **	0,1 µA	± (1,2% + 2)	0,01 µA	± (1% + 2)
Resistencia	50 MΩ	0,1 Ω	± (0,4% + 1)	0,01 Ω	± (0,2% + 1)
Conductancia	60 nS	0,01 nS	± (1% + 10)	0,001 nS	± (1% + 10)
Capacidad	9.999 µF	0,01 nF	± (1% + 2)	0,01 nF	± (1% + 2)
Frecuencia	> 200 kHz	0,01 Hz	± (0,005% + 1)	0,01 Hz	± (0,005% + 1)
Temperatura	-200 a 1090 °C	-	-	0,1 OC	1%
Sonda de temperatura 80BK	- 40 a 260 °C	-	-	-	2,2 °C ó 2%

La precisión considerada es la mejor para cada función.

* La precisión del modelo 87V está definida para 6.000 cuentas y la resolución para 20.000 cuentas

** 20 A hasta un máximo de 30 segundos

Vida útil de la batería: típicamente más de 400 horas (alcalina).

Tamaño (sin funda) (AxAxP): 186 mm x 86 mm x 32 mm

Peso: 0,36 Kg

Garantía para toda la vida

Anexo 5 Características y especificaciones de multímetro utilizado para mediciones