



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**“PROTOTIPO MÓVIL AUTOMATIZADO PARA RIEGO POR
ASPERSIÓN UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WASHINTON RENE MAMANI NUÑEZ

Bach. WILSON YUCRA VALDEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios quien a diario nos da la dicha de compartir su gracia y por darnos la vida.

A mis queridos padres Lucio S. Mamani Lima y Juana A. Núñez Flores, con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mis hermanos Joel y Ronaldo, compañeros de toda la vida, cómplices y protectores, por su apoyo y aliento incondicional en el logro de mis metas.

A Melany M. V. hija mía pues tu eres sin duda, la parte más importante de mi vida que me diste muchas fuerzas para lograr una parte de mi meta. Así mismo, a mi esposa Matilde, por creer en mí, por brindarme cariño y comprensión.

A mi abuela Hirene Flores, a mi abuelo German Núñez y a toda mi familia, por la motivación constante y que siempre estuvieron apoyándome para poder lograr esta meta.

Washinton Rene Mamani Nuñez



DEDICATORIA

El presente trabajo investigación lo dedico principalmente a Dios por llenarme de muchas bendiciones, así mismo, a mis abuelos VICENTE y MOISES, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Roger Yucra Calla y Beatriz Valdez Quispe quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

También quiero dedicarle con mucho amor mi hijo querido Dímar André Yucra Quispe, con el afán de que se enrumbe en la vida con mi ejemplo y que el sepa valorar cada día más el amor y cariño de su padre.

Wilson Yucra Valdez



AGRADECIMIENTO

Desde lo más profundo de mi corazón le doy gracias a Dios, por permitirnos llegar a este punto de nuestras vidas, por darnos fuerzas, paciencia y tranquilidad necesaria para superar los muchos obstáculos que se presentaron en el desarrollo de esta tesis.

Un sincero reconocimiento y agradecimiento a todos los docentes de la Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica: porque cada uno de ellos con sus palabras, conocimientos, motivaciones y consejos que nos guiaron nuestra formación a la excelencia ser un profesional integral.

A nuestro Asesor de Tesis M.Sc. José Manuel Ramos Cutipa, por las orientaciones realizadas durante la ejecución del presente proyecto de investigación; quien con su experiencia y conocimiento contribuyeron en la realización de presente proyecto.

Washinton Rene Mamani Nuñez

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A la Universidad Nacional del altiplano (UNAP), que me abrió sus puertas para continuar con mis estudios superiores y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica (EPIME), por haberme formado durante mi carrera profesional, y cada uno de los docentes y compañeros en general.

Así mismos, quiero expresar mi gratitud a mi esposa Yaneth E. Q. M. por la ayuda que me ha brindado, estuvo a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, siempre ayudándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo, fue muy motivadora y esperanzadora hasta logra la culminación de esta tesis.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a mi asesor M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta tesis.

Wilson Yucra Valdez



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 17

ABSTRACT..... 18

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 19

1.1.1. Formulación de interrogantes 19

1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA..... 20

1.2.1. Justificación económica 20

1.2.2. Justificación académica 21

1.2.3. Justificación social 21

1.2.4. Justificación ambiental 21

1.3. OBJETIVO GENERAL 21

1.3.1. Objetivos específicos 22

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION 23

2.1.2. Riego por aspersión 27

2.1.3. Bomba de agua..... 29

2.1.4. Humedad del suelo..... 32

2.1.5. Sistema de fotovoltaico..... 35

2.1.6. sistema mecánico 76



| | | |
|--------|-----------------------------|----|
| 2.1.7. | Sistema control | 85 |
| 2.1.8. | Hipótesis del trabajo | 93 |

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

| | | |
|-------------|---|------------|
| 3.1. | DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN | 95 |
| 3.1.1. | Tipo de investigación | 95 |
| 3.2. | METODOS Y DESCRIPCION DE MATERIALES POR SISTEMAS | 97 |
| 3.2.1. | Sistema mecánico | 97 |
| 3.3. | SISTEMA HIDRÁULICO (AGUA)..... | 102 |
| 3.4. | SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA..... | 111 |
| 3.5. | SISTEMA FOTOVOLTAICO | 115 |
| 3.6. | SISTEMA DE CONTROL..... | 118 |
| 3.6.1. | Software Arduino 1.8.18..... | 118 |
| 3.6.2. | Software EAGLE..... | 119 |
| 3.6.3. | Software PROTEUS | 120 |

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | | |
|-------------|---|------------|
| 4.1. | RESULTADOS | 143 |
| 4.2. | RESULTADO DE CALCULO DE SISTEMA MECANICO..... | 143 |
| 4.3. | RESULTADO DEL SISTEMA HIDRAULICO..... | 146 |
| 4.3.1. | Selección de microaspensor | 146 |
| 4.3.2. | Área experimental de irrigación | 148 |
| 4.3.3. | Dimensionamiento de electrobomba | 148 |
| 4.4. | RESULTADOS DEL SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA | 149 |
| 4.4.1. | Dimensionamiento de motorreductor | 150 |
| 4.4.2. | RPM en el carrete de la manguera | 151 |
| 4.4.3. | Velocidad lineal de la carreta de descarga..... | 152 |
| 4.5. | RESULTADOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO | 153 |



| | | |
|--------------|---|------------|
| 4.5.1. | Cálculo de demanda máxima..... | 153 |
| 4.5.2. | Potencia consumida por día por el prototipo | 153 |
| 4.5.3. | Dimensionamiento de batería | 154 |
| 4.5.4. | Dimensionamiento de panel..... | 155 |
| 4.6. | RESULTADOS DE EVALUACION DE RADIACION EN LA REGION DE PUNO..... | 156 |
| 4.6.1. | Análisis de factibilidad de radiación en la región de puno | 156 |
| 4.7. | PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE ARDUINO CON MATERIALES UTILIZADOS. | 157 |
| 4.7.1. | NODEMCU - maestro WIFI..... | 157 |
| 4.7.2. | Sensor de humedad higrómetro fc-28..... | 158 |
| 4.7.3. | Sensor ultrasónico HC-SR04 | 158 |
| 4.7.4. | Simulación de la programación con PROTEUS..... | 159 |
| 4.8. | OPERACIÓN DEL PROTOTIPO..... | 159 |
| 4.8.1. | Precauciones antes de puesta en marcha..... | 159 |
| 4.8.2. | Procedimiento de operación del prototipo | 160 |
| 4.8.3. | Mantenimiento del prototipo | 168 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 169 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 170 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 171 |
| ANEXO | | 174 |

Área : Control y Automatización

Tema : Automatización

Fecha de sustentación: 10 de febrero de 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura N°1: | Componentes de un sistema de riego por aspersión. | 29 |
| Figura N°2: | Clasificación de tipo de bombas de agua..... | 30 |
| Figura N°3: | Bomba de diafragma..... | 31 |
| Figura N°4: | Bomba de diafragma – Corte..... | 31 |
| Figura N°5: | Volumen de aire..... | 33 |
| Figura N°6: | Balance hídrico del suelo..... | 34 |
| Figura N°7: | Componentes de la radiación solar en la tierra..... | 36 |
| Figura N°8: | Recorrido solar anual..... | 37 |
| Figura N°9: | Conversión de energía en la célula..... | 38 |
| Figura N°10: | Efectos de la temperatura y potencia solar..... | 40 |
| Figura N°11: | Aspecto de una red de células de silicio monocristalino..... | 41 |
| Figura N°12: | Células policristalinas..... | 42 |
| Figura N°13: | Célula de capa delgada montada sobre un sustrato flexible..... | 42 |
| Figura N°14: | Partes de una instalación fotovoltaica..... | 44 |
| Figura N°15: | Ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre un módulo en posición horizontal..... | 46 |
| Figura N°16: | Orientación de los módulos fotovoltaicos para un sitio ubicado al sur. | 47 |
| Figura N°17: | Orientación y ángulo de inclinación recomendado para Perú (ubicada en latitud sur)..... | 47 |
| Figura N°18: | Partes de un panel fotovoltaico..... | 49 |
| Figura N°19: | Imágenes de reguladores de carga..... | 60 |
| Figura N°20: | Esquemas de sistema FV con regulador de carga de baterías..... | 61 |
| Figura N°21: | Regulador de carga de baterías..... | 61 |
| Figura N°22: | Diferencia PWM y MPPT..... | 65 |
| Figura N°23: | Alambre..... | 67 |



| | | |
|---------------------|--|-----|
| Figura N°24: | Cable. | 67 |
| Figura N°25: | Monoconductor. | 68 |
| Figura N°26: | Multiconductor. | 68 |
| Figura N°27: | Cubiertas protectoras. | 70 |
| Figura N°28: | Cable armado. | 71 |
| Figura N°29: | Esquema de montaje general de un motor DC. | 73 |
| Figura N°30: | Partes del rotor de un motor DC. | 73 |
| Figura N°31: | Esquema eléctrico de un motor DC. | 74 |
| Figura N°32: | Esquema de funcionamiento de un motor eléctrico. | 74 |
| Figura N°33: | Corriente continua. | 76 |
| Figura N°34: | Bandas más utilizadas en la transmisión por correas. | 77 |
| Figura N°35: | Mecanismo del Sistema de Transmisión por Correas. | 78 |
| Figura N°36: | Mecanismo del Sistema de Transmisión por Cadenas. | 79 |
| Figura N°37: | Cadena de dientes y piñones. | 81 |
| Figura N°38: | Sistema de Transmisión por Tren de Engranajes. | 82 |
| Figura N°39: | Sistema de Transmisión por Tren de Engranajes. a) Tren Ordinario Simple, b) Tren Ordinario Compuesto, c) Tren Epicicloidal Simple, d) Tren Epicicloidal Diferencial, e) Trenes epicicloidales de balancín. . | 84 |
| Figura N°40: | Descripciones de los elementos de un sistema de control automático. | 87 |
| Figura N°41: | NodeMCU. | 89 |
| Figura N°42: | Esquema de modalidad de trabajo. | 93 |
| Figura N°43: | Ventana de diseño de 3D en SOLIDWORK. | 97 |
| Figura N°44: | Construcción de carrete. | 98 |
| Figura N°45: | Materiales para el montaje del carrete. | 98 |
| Figura N°46: | Proceso de construcción. | 99 |
| Figura N°47: | Proceso de construcción modulo fotovoltaico. | 100 |



| | | |
|---------------------|---|-----|
| Figura N°48: | Proceso de construcción de la carreta de descarga. | 101 |
| Figura N°49: | Electrobombas 12V, 70PSI..... | 102 |
| Figura N°50: | Subida de calor..... | 104 |
| Figura N°51: | Detalles de la electrobomba. | 104 |
| Figura N°52: | Accesorios hidráulicos (agua)..... | 105 |
| Figura N°53: | Niples, codo y tee..... | 105 |
| Figura N°54: | Reductor campana..... | 106 |
| Figura N°55: | Manómetro..... | 107 |
| Figura N°56: | Acople rápido..... | 107 |
| Figura N°57: | Manguera. | 108 |
| Figura N°58: | Carrete de manguera. | 109 |
| Figura N°59: | Micro aspersor 01. | 109 |
| Figura N°60: | Micro aspersor 02. | 110 |
| Figura N°61: | Sistemas de transmisión..... | 111 |
| Figura N°62: | Motorreductor. | 111 |
| Figura N°63: | Cadena silenciosa. | 112 |
| Figura N°64: | Piñón conductor. | 113 |
| Figura N°65: | Piñón conducido. | 113 |
| Figura N°66: | Rodamiento..... | 114 |
| Figura N°67: | Panel Solar. | 115 |
| Figura N°68: | Regulador de carga. | 116 |
| Figura N°69: | Batería para panel solar..... | 117 |
| Figura N°70: | Vista de programa del Software Arduino. | 119 |
| Figura N°71: | Vista de Programa Eagle 7.6.0..... | 119 |
| Figura N°72: | Circuitos impresos en placas..... | 120 |
| Figura N°73: | Siclo de construcción de circuito electrónicos..... | 121 |



| | | |
|---------------------|---|-----|
| Figura N°74: | Siclo de proceso de construcción de circuito electrónico definido... | 121 |
| Figura N°75: | NodeMCU ESP8266..... | 122 |
| Figura N°76: | Periféricos de NodeMCU..... | 124 |
| Figura N°77: | Voltímetro/Amperímetro | 125 |
| Figura N°78: | Display Alfanumérico LCD 2004..... | 126 |
| Figura N°79: | Display Alfanumérico LCD 1602..... | 127 |
| Figura N°80: | Modulo adaptador LCD. | 128 |
| Figura N°81: | Sensor de Humedad de suelo FC-28..... | 129 |
| Figura N°82: | Convertidor Voltaje dc-dc. | 130 |
| Figura N°83: | Regulador 7805 | 132 |
| Figura N°84: | Condensador 220uF/25v. | 133 |
| Figura N°85: | Esquema de funcionamiento del sensor ultrasónico. | 134 |
| Figura N°86: | Sensor ultrasónico HC-SR04..... | 135 |
| Figura N°87: | Tablero Eléctrico..... | 136 |
| Figura N°88: | montaje del sistema del sensor de humedad. | 137 |
| Figura N°89: | Montaje del sistema del sensor ultrasónico. | 137 |
| Figura N°90: | Montaje de tablero eléctrico. | 138 |
| Figura N°91: | CLIMWAT | 139 |
| Figura N°92: | Selección de coordenadas de nuestra Región en Climwat 2.0..... | 139 |
| Figura N°93: | Exportación de datos climatológicos de Climwat 2.0..... | 140 |
| Figura N°94: | Página principal de Power Data Acces Viewer NASA. | 141 |
| Figura N°95: | Introducción de coordenadas de nuestra región de Puno a Power Data Acces Viewer NASA..... | 141 |
| Figura N°96: | Irradiación media de cada mes y del año exportados de NASA..... | 142 |
| Figura N°97: | Resultado de Análisis de la estructura de SOLIDWORK. | 144 |
| Figura N°98: | Modelamiento 3D de carreta de descarga (aspersores). | 144 |



| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura N°99: | Modelamiento 3D de carreta impulsora..... | 145 |
| Figura N°100: | Modelamiento 3D de soporte de motorreductor. | 145 |
| Figura N°101: | Modelamiento 3D de soporte de panel solar. | 145 |
| Figura N°102: | Curvas de funcionamiento del aspersor. | 147 |
| Figura N°103: | Área para riego uniforme. | 148 |
| Figura N°104: | Obtención de fuerza. | 150 |
| Figura N°105: | Esquema de fuerzas existente sobre sistema de transmisión mecánica | 150 |
| Figura N°106: | Esquema de funcionamiento del sistema de control. | 158 |
| Figura N°107: | Vista de programación de Simulación de Automatización..... | 159 |
| Figura N°108: | Instalación de carretas..... | 160 |
| Figura N°109: | Detalles de estructura del módulo solar..... | 161 |
| Figura N°110: | Instalación del sensor de humedad y sensor ultrasónico. | 162 |
| Figura N°111: | Encendido del sistema de control. | 163 |
| Figura N°112: | Visor de datos de voltaje y corriente de funcionamiento..... | 163 |
| Figura N°113: | Pantalla de visor de datos..... | 164 |
| Figura N°114: | Pantalla de visor de datos de humedad y el estado de conexión inalámbrica. | 164 |
| Figura N°115: | Pantalla de visor de datos de sensor ultrasónico y el estado de conexión inalámbrica..... | 165 |
| Figura N°116: | Inicio de riego. | 166 |
| Figura N°117: | Riego de carreta de descarga (aspersores). | 166 |
| Figura N°118: | Fin del riego. | 167 |
| Figura N°119: | Guardado del prototipo. | 168 |
| Figura N°120: | Prueba de presión y caudal de la electrobomba..... | 174 |
| Figura N°121: | Proceso de elaboración. | 174 |
| Figura N°122: | Prueba inicial. | 175 |



| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura N°123: | Programación general. | 175 |
| Figura N°124: | Proceso de cableado del Prototipo. | 176 |
| Figura N°125: | Prueba de datos de humedad con sensores inalámbricos. | 176 |
| Figura N°126: | Transferencia de datos previa programación. | 177 |
| Figura N°127: | Prueba final de riego. | 177 |
| Figura N°128: | Prueba Final de aspersores, sensores de humedad y sensores de proximidad. | 178 |
| Figura N°129: | Tablero de control. | 178 |
| Figura N°130: | Montaje de la electrobomba. | 179 |
| Figura N°131: | Línea hidráulica. | 179 |
| Figura N°132: | Montaje del sistema de transmisión mecánica. | 180 |
| Figura N°133: | Montaje de carretes de manguera y cable de acero. | 180 |
| Figura N°134: | Montaje del módulo fotovoltaico. | 181 |
| Figura N°135: | Montaje de Batería. | 181 |
| Figura N°136: | Instalación de polea. | 182 |
| Figura N°137: | Proceso de traslado y guardado del prototipo. | 182 |
| Figura N°138: | Sensores de humedad y sensores Ultrasónicos. | 183 |
| Figura N°139: | Proceso de prueba del prototipo en el parque de la EPIME. | 183 |
| Figura N°140: | Imágenes del prototipo móvil automatizado con los ejecutores | 184 |
| Figura N°141: | Código de programación maestro Wifi. | 185 |
| Figura N°142: | Código de programación sensor de humedad. | 190 |
| Figura N°143: | Código de programación sensor ultrasónico. | 192 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Tabla N°1: | Ventajas y desventajas de riego por aspersión..... | 28 |
| Tabla N°2: | Características de las diferentes células solares..... | 43 |
| Tabla N°3: | Tipos de baterías disponibles en el mercado. | 53 |
| Tabla N°4: | Tipos de reguladores..... | 63 |
| Tabla N°5: | Clasificación de inversores. | 63 |
| Tabla N°6: | Símbolos eléctricos utilizados en los esquemas de instalación. | 76 |
| Tabla N°7: | Ventajas e Inconvenientes de los Sistemas de Transmisión de Potencia | 84 |
| Tabla N°8: | Materiales para el montaje del soporte | 99 |
| Tabla N°9: | Materiales para la estructura del módulo fotovoltaico..... | 100 |
| Tabla N°10: | Materiales para el montaje del carrete de descarga. | 101 |
| Tabla N°11: | Características de la bomba. | 102 |
| Tabla N°12: | Características del motor. | 103 |
| Tabla N°13: | Selección de la electrobomba. | 103 |
| Tabla N°14: | Rendimiento de la bomba. | 103 |
| Tabla N°15: | Características de accesorios de agua. | 106 |
| Tabla N°16: | Características de reductor campana..... | 106 |
| Tabla N°17: | Características del microaspersor 01. | 110 |
| Tabla N°18: | Características del micro aspersor 02. | 110 |
| Tabla N°19: | Características del motorreductor. | 112 |
| Tabla N°20: | Características de la cadena silenciosa | 112 |
| Tabla N°21: | Características de piñón conductor. | 113 |
| Tabla N°22: | Características de piñón conducido. | 114 |
| Tabla N°23: | Características de rodamiento..... | 114 |
| Tabla N°24: | Características del panel solar..... | 115 |
| Tabla N°25: | Características de regulador de carga. | 116 |



| | | |
|--------------------|---|-----|
| Tabla N°26: | Características de la batería. | 117 |
| Tabla N°27: | NodeMCU v2 ESP8266 WiFi..... | 123 |
| Tabla N°28: | Características del Voltímetro/Amperímetro..... | 125 |
| Tabla N°29: | Características de Display Alfanumérico LCD 2004. | 126 |
| Tabla N°30: | Características de Display Alfanumérico LCD 1602. | 127 |
| Tabla N°31: | Características de Modulo adaptador LCD..... | 128 |
| Tabla N°32: | Sensor de Humedad de suelo FC-28..... | 129 |
| Tabla N°33: | Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596..... | 130 |
| Tabla N°34: | Características de Regulador 7805 | 132 |
| Tabla N°35: | Características de Condensador 220uF/25v | 133 |
| Tabla N°36: | Características de Sensor ultrasónico HC-SR04..... | 135 |
| Tabla N°37: | Características de Tablero Eléctrico. | 136 |
| Tabla N°38: | Tabla de datos climatológicos exportados de Climwat. | 140 |
| Tabla N°39: | Valores de radiación en todos los meses del año de SENAMHI..... | 142 |
| Tabla N°40: | Características de selección de micro aspersor 01..... | 146 |
| Tabla N°41: | Características de seleccion de micro aspersor 02..... | 147 |
| Tabla N°42: | Característica de Electrobombas..... | 149 |
| Tabla N°43: | Datos de fuerza general F2. | 149 |
| Tabla N°44: | Características del motorreductor seleccionado. | 151 |
| Tabla N°45: | Demanda máxima del prototipo..... | 153 |
| Tabla N°46: | Resultados de evaluación de radiación | 156 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|----------------|---|
| DC | : Corriente Continua |
| FV | : Fotovoltaico |
| VOC | : Circuito Abierto de Voltaje |
| PWM | : Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso) |
| MPPT | : Maximum Power Point Tracking (Seguidor del punto de máxima potencia) |
| CC | : Corriente Contina |
| NodeMCU | : Unidad Microcontroladora de Nodos |
| ESP | : Programa Electrónico de Estabilidad |
| FTDI | : Dispositivos de tecnología futura internacional |
| IDE | : Entorno de Desarrollo Integrado |
| NASA | : National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) |
| SENAMHI | : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú |
| ASTM | : Sociedad Americana para Pruebas y Materiales |
| RPM | : Revolución Por Minuto |
| EDA | : Automatización del diseño electrónico |
| PCB | : Placa de Circuito Impreso |
| CAM | : Fabricación asistida por ordenador |
| CPU | : Unidad central de procesamiento |
| UART | : Transmisor-Receptor Asíncrono Universal |
| ADC | : Conversión Analógica-Digital |
| GPIO | : Entrada/Salida de Propósito General |
| LCD | : Pantalla de cristal líquido |
| SCL | : Bibliotecas de código fuente |
| TTL | : lógica transistor a transistor |



RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito diseñar un prototipo automático móvil, para un sistema de riego tecnificado, que es controlada y monitoreada por un sensor de humedad el mismo que es transmitida por señales inalámbricas wifi, este prototipo fue diseñado para dar utilidad al recurso hídrico y a la energía fotovoltaica de manera eficiente en la región de Puno. El presente estudio se origina a partir de la necesidad de riego que crece incontrolablemente para el ámbito agropecuario de la región de Puno, en épocas de otoño e invierno en las que se presentan mayores escases del recurso hídrico, por lo que se hace necesario tecnificar el riego sin ningún tipo de impacto ambiental negativa y económico. El desarrollo del estudio comienza con la recopilación de datos e información de textos, artículos, libros, tesis, etc. Así mismo, se utilizaron los siguientes softwares: SolidWorks, climwat 2.0, Excel, para dimensionar y seleccionar los equipos y materiales de los diferentes sistemas. Los resultados obtenidos permitieron demostrar que, fue posible diseñar y elaborar el prototipo móvil automatizado en la cual se pudo visualizar la variación de la humedad por tiempo de riego, esta variación se muestra directamente en tiempo real en una pantalla LCD la cual se encuentra en el tablero de control. La investigación se concluye de manera satisfactoria; de acuerdo al análisis realizado el recurso solar en la región de Puno, es adecuado para el funcionamiento del prototipo, el monitoreo y control de la humedad del área de cultivo es de manera inalámbrica wifi, de también se concluye que se pudo lograr el riego uniforme, utilizando dos micro aspersores que se mueve de manera lineal con un uso eficiente del agua, todo ello se realizó en un área de 20m² en el jardín de la EPIME.

Palabras Claves: Prototipo, Riego, Aspersión, humedad, Automatización.



ABSTRACT

The purpose of this work was to design a mobile automatic prototype for a technified irrigation system, which is controlled and monitored by a humidity sensor, which is transmitted by Wi-Fi wireless signals, this prototype was designed to give utility to the water resource and photovoltaic energy efficiently in the Puno region. The present study originates from the need for irrigation that grows uncontrollably for the agricultural field of the Puno region, in times of autumn and winter in which there are greater shortages of water resources, for which it is necessary to technify the irrigation without any negative environmental and economic impact. The development of the study begins with the collection of data and information from texts, articles, books, theses, etc. Likewise, the following software was used: SolidWorks, climwat 2.0, Excel, to size and select the equipment and materials of the different systems. The results obtained allowed to demonstrate that it was possible to design and elaborate the automated mobile prototype in which the variation of humidity by irrigation time could be visualized, this variation is shown directly in real time on an LCD screen which is located in the control panel. The investigation is concluded satisfactorily; According to the analysis carried out, the solar resource in the Puno region is suitable for the operation of the prototype, the monitoring and control of the humidity of the cultivation area is Wi-Fi wireless, it is also concluded that uniform irrigation could be achieved. , using two micro-sprinklers that move in a linear manner with an efficient use of water, all of this was carried out in an area of 20m² in the EPIME garden.

Keywords: Prototype, Irrigation, Sprinkling, humidity, Automation.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

las problemáticas de escases de agua en las zonas agrícolas y ganaderas en nuestra región de Puno, se presentan en las épocas de otoño e invierno en donde hay ausencia de lluvias.

La insuficiencia del agua genera una gran preocupación en los ganaderos y agricultores, los mismos que realizan el uso ineficiente del agua, empleando sistemas de riego convencionales, de tal forma no existe un buen control de riego, a la vez utilizando combustibles fósiles que generan un impacto ambiental negativo.

No existen estudios de monitoreo de humedad de los suelos de cultivo con sistemas automatizados móviles.

Además, los sistemas convencionales son de tipo estacionario y son dificultosos para transportar de un lugar a otro, a la vez genera pérdida de tiempo y dinero.

1.1.1. Formulación de interrogantes

- a) ¿Será posible utilizar el recurso solar de la región de Puno, para el funcionamiento del prototipo móvil?
- b) ¿Será posible el diseño de un prototipo móvil de riego automatizado?
- c) ¿Será posible el monitorear y controlar de manera inalámbrica wifi la humedad del área de cultivo?
- d) ¿Será posible lograr un riego uniforme con dos micro aspersores, montados en una carreta móvil?



1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

En los últimos años la necesidad de riego crece incontrolablemente principalmente para los agricultores y ganaderos de las zonas rurales de la región de Puno, en épocas de otoño e invierno en las que se presentan mayor escases del recurso hídrico (agua), por lo que se hace necesario tecnificar el riego sin ningún tipo de impacto ambiental negativa, como también no existen equipos que nos permitan realizar este tipo de riegos que contribuyan al ahorro del recurso hídrico (agua) y económico del productor agropecuario y ganadera de la región.

El equipo de carrete Autopulsado existe de distintos tamaños en los países desarrollados como: México, Ecuador, Brasil, etc. En la cual utilizan para riego tecnificado de grandes hectáreas de cultivos de chacra, pastos cultivados, etc. En nuestro país esos sistemas no suelen fabricarse, la cual es muy necesario y útil, por ende, opta realizar el prototipo como muestra, con los parámetros climatológicos de nuestra región de Puno, la cual será un sistema completo de Bombeo y riego Automatizado con su carrete móvil, utilizando el sensor de humedad para controlarlo eficientemente el sistema de riego.

1.2.1. Justificación económica

Actualmente el riego se realiza utilizando motobombas, electrobombas convencionales, etc. El cual afecta la economía de los pequeños y medianos agricultores, dado que estos equipos demandan un gasto adicional en combustibles, energía eléctrica (KW/h). Incluso también se requieren más de 3 personas para el riego y operación de estos equipos. En tal sentido, se plantea crear un equipo móvil de riego, que favorece económicamente al productor agropecuario de la región.



1.2.2. Justificación académica

Es la necesidad de que cuente con laboratorios debidamente equipados la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, que no sólo hará énfasis en la formación profesional que el estudiante pueda recibir, sino que el real compromiso se orienta a la formación de estudiantes competitivos e innovadores, permitiendo adaptar la fundamentación teórica y práctica en los estudiantes. Por ello se construirá el prototipo de ensayo y se donará a la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

1.2.3. Justificación social

El presente proyecto de estudio experimental y elaboración de un prototipo automatizado para riego por aspersión utilizando energía fotovoltaica, pretende dar solución a los problemas sociales, ya que va satisfacer la necesidad de pequeños y medianos agricultores en las zonas rurales de la región, en los meses donde se ausenta de lluvia.

1.2.4. Justificación ambiental

Para el funcionamiento de este sistema no es necesario utilizar combustibles fósiles ni energía convencional, ya que estas energías generan mayor contaminación. A consecuencia de ello se propone utilizar la energía fotovoltaica, siendo una energía limpia y sostenible.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo automático móvil apropiado para un sistema de riego tecnificado, adecuadas a las características climatológicas que se presentan en épocas de otoño e invierno, dando utilidad al recurso hídrico y a la energía fotovoltaica de manera eficiente en la región de Puno.



1.3.1. Objetivos específicos

- a) Evaluar el recurso solar de la Región Puno, para el suministro de la energía eléctrica que permita el funcionamiento del prototipo móvil.
- b) Realizar un prototipo automático móvil para el sistema de riego tecnificado, utilizando herramientas digitales.
- c) Realizar un sistema de monitoreo y control de la humedad del área de cultivo mediante las señales inalámbricas wifi.
- d) Realizar un riego uniforme en un área determinada utilizando dos micro aspersores.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION

PRIMER ANTECEDENTE

En la investigación: “diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología Arduino en el laboratorio de control y automatización EPIME 2016”. Se centra en diseñar e implementar un sistema automatizado aplicado a riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelos con tecnología Arduino para un eficiente uso del agua, en el laboratorio de control y automatización, de EPIME 2016. El trabajo de tesis consiste en el diseño de un sistema automatizado para riego tecnificado, realizando un balance de humedad de suelo el cual tiene como objetivo un uso eficiente del agua conjuntamente con la implementación tecnología Arduino y el ensamblamiento de los componentes eléctricos e electrónicos. Básicamente para realizar este sistema de riego automatizado se debe tener un sensor de humedad de suelo de tipo señal analógica, el cual tendrá la función de monitorear la humedad de suelo, este transmitirá mediante una señal analógica a la placa Arduino y esta a su vez procesara la información para luego generar una señal de salida, la cual transmitirá a un relay que este último activara o desactivara la bomba de agua. De esta manera podremos controlar la humedad del suelo evitando que se tenga exceso o déficit de humedad de suelo en el cultivo. Para esta ocasión se desarrolló una prueba experimental en un área de 6.4 m², designando uno para riego automatizado y otro con riego convencional para este último se realizó cálculo de la cantidad de agua que se utilizaría para riego convencional utilizando el software clinwat 8.0, posteriormente se



elaboró un módulo de aprendizaje de riego automatizado, donde se puede apreciar el funcionamiento del sistema de riego automatizado conjuntamente con los materiales utilizados en la etapa experimental, para el laboratorio de control y automatización de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

SEGUNDO ANTECEDENTES

En la investigación: “diseño del sistema de bomba solar utilizando bomba sumergible híbrido con variador de velocidad para la comunidad quenafajja del distrito de acora provincia de puno”. Se centra en diseñar el sistema de bomba solar con paneles FV automatizado, utilizando variador de Velocidad y bombeo de agua hacia un reservorio y distribuido por gravedad para consumo humano para la comunidad de Quenafajja. El presente trabajo surge de la necesidad de dar solución a los problemas existentes en el sistema de abastecimiento de agua potable que afecta a las Comunidad de Quenafajja Distrito de Acora, provincia de puno. Debido al crecimiento poblacional y a la antigüedad de los sistemas de suministro que generan un abastecimiento racionalizado en ciertos sectores de la población. Diseñar el sistema de bomba solar con paneles FV automatizado, utilizando variador de velocidad y bombeo de agua hacia un reservorio y distribuido por gravedad, contribuyan a mantener un adecuado y seguro suministro de agua. Los datos a reunir se obtendrán del número de familias, área de caudal del nivel del pozo, bomba sumergible, paneles FV, variador de velocidad y dimensión del reservorio; investigación de ciencia aplicada, Mediante este diseño lo que se pretende es obtener la mejor opción técnica económica que nos permita definir el tipo, sistema de bombeo automatizado, al menor costo de inversión presente, cumpliendo con todos los requerimientos que el diseño exige. Durante el desarrollo de este proyecto se observó que la automatización trae grandes beneficios. (Sosa-Cutipa, 2017)



TERCER ANTECEDENTE

En la investigación: “diseño de un sistema de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización de la EPIME”. Se centra en diseño de un sistema de control autónomo de bombeo solar monitorizado en el laboratorio de control y automatización para pruebas de performance en tiempo real, aplicado a la enseñanza de las asignaturas de energías renovables, control y automatización en la EPIME de la UNA – Puno. Este proyecto desarrolla un sistema de control autónomo monitoreado con energía Fotovoltaica en el laboratorio de la EPIME, así poder obtener información actualizada sobre las características y operación de los equipos, en tiempo real del módulo a instalar, también es muy importante el conocer si existe o no recursos disponibles en el lugar donde se planea realizar la instalación. Actualmente se usa los sistemas de bombeo de agua para cubrir las necesidades humanas, agrícolas y ganaderas, principalmente en lugares aislados, donde se carece de la red eléctrica o por la falta de combustible por lo que, han convertido la energía fotovoltaica en una práctica usual y rentable. En este sistema, el agua es bombeada a un depósito únicamente durante las horas de sol, ubicado a una altura superior de la toma de agua. De esta manera, nos aseguramos de que haya agua almacenada en el tanque cuando la insolación es mínima y de que haya presión en la toma. Además, tiene la ventaja de que la temporada de más demanda de agua suele coincidir con la de mayor radiación solar, sin embargo en nuestra región no se cuenta con información de este tipo de tecnología, ni datos de cómo estos sistemas se comportan durante su operación, debemos de tener en cuenta que estos tipos de sistemas están siendo competitivos económicamente, por lo que se hace necesario amoldar la tecnología a nuestra realidad, lo cual no se podrá realizar si no se cuenta con un adecuado sistema de información y monitoreo del funcionamiento de estos. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)



2.1. SUSTENTO TEORICO

2.2.1. Riego

El Riego se puede definir como la aplicación de agua en forma artificial, no por el producto de la lluvia, a un determinado terreno con el fin de que este recupere un nivel de humedad que sea aprovechable por las plantas que en el están arraigadas permitiéndoles vivir y desarrollarse.

En un sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequias de corta duración.
- Refrescar la temperatura del suelo y la atmosfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para su desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.
- Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- Dar las características óptimas de humedad de suelo.

En términos generales el objetivo que se persigue con el riego es aplicar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua en el momento adecuado y en la cantidad necesaria para lograr un crecimiento óptimo. (Llantas, 2018)

2.2.2. Riego tecnificado

El riego tecnificado o la tecnificación de riego se refiere al aprovechamiento eficiente del agua, a partir del uso adecuado de la tecnología en beneficio de la agricultura; está diseñado para saber cuándo, cuánto y cómo regar, permitiendo la aplicación en los cultivos de agua, fertilizantes y nutrientes de forma segura. (Hidroponia, 2015)



2.1.1.1. Beneficios del riego tecnificado

El riego tecnificado permite aplicar los recursos de forma localizada, continua, eficiente y de manera oportuna, asimismo, se adapta a cualquier tipo de suelo y a condiciones topográficas diversas, lo cual además de ahorrar tiempo, ayuda a mejorar la economía ya que cumple con ciertas funciones como lo es el regar, fertilizar y controlar plagas, evitando el desarrollo de maleza, la presencia de plagas y enfermedades, lo cual disminuye las pérdidas. (Hidroponia, 2015)

Asimismo, favorece el crecimiento y desarrollo de los cultivos, permitiendo alcanzar una eficiencia del 95 por ciento en comparación a otros mecanismos de riego, ya que le aporta a los cultivos lo necesario, así como las condiciones óptimas para su producción con una frecuencia regular. (Hidroponia, 2015)

2.1.2. Riego por aspersión

Es un sistema de riego en el que el agua se aplica en forma de una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de se infiltre en el mismo punto donde cae. Para ello es necesaria una red de distribución que permita que el agua de riego llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua (aspersores o difusores). (Alonso, 2010)

2.1.2.1. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Los sistemas de riego por aspersión se pueden clasificar en dos grupos generales:

1. Sistemas estacionarios que permanecen en la misma posición mientras dura el riego.
2. Sistemas mecanizados que se desplazan mientras aplican el agua de riego.

2.1.2.2. Ventajas y desventajas de riego por aspersión

Tabla N°1: Ventajas y desventajas de riego por aspersión.

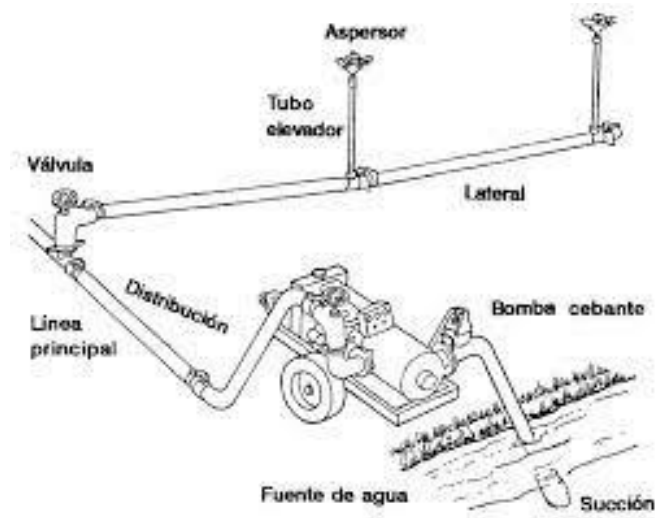
| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Elimina los canales de conducción de agua, reduciendo así posibles pérdidas en el transporte de agua.• Adecuado en todo tipo de suelos, excepto los arcillosos.• Ayuda a aumentar el rendimiento.• Simula un riego como si fuera lluvia.• Reduce la compactación del suelo. | <ul style="list-style-type: none">• Es más fácil desperdiciar agua si la instalación no es correcta.• Las malas hierbas proliferan con más facilidad.• La instalación puede ser más costosa y puede requerir de mayores conocimientos técnicos.• Su eficiencia depende mucho de la fuerza con la que sopla el viento. |

Fuente: <https://www.sembrar100.com/riego-por-aspersion/>

2.1.2.3. Componentes que integran un equipo de riego por aspersión

una instalación de sistema de riego está constituida por: el cabezal de riego, red de distribución, aparatos de control, automatización y emisores de riego por aspersión (véase figura N°1). (Llantas, 2018)

Figura N°1: Componentes de un sistema de riego por aspersión.



Fuente:

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/40180/NR26419.pdf?sequence=1>

&isAllowed=y

2.1.3. Bomba de agua

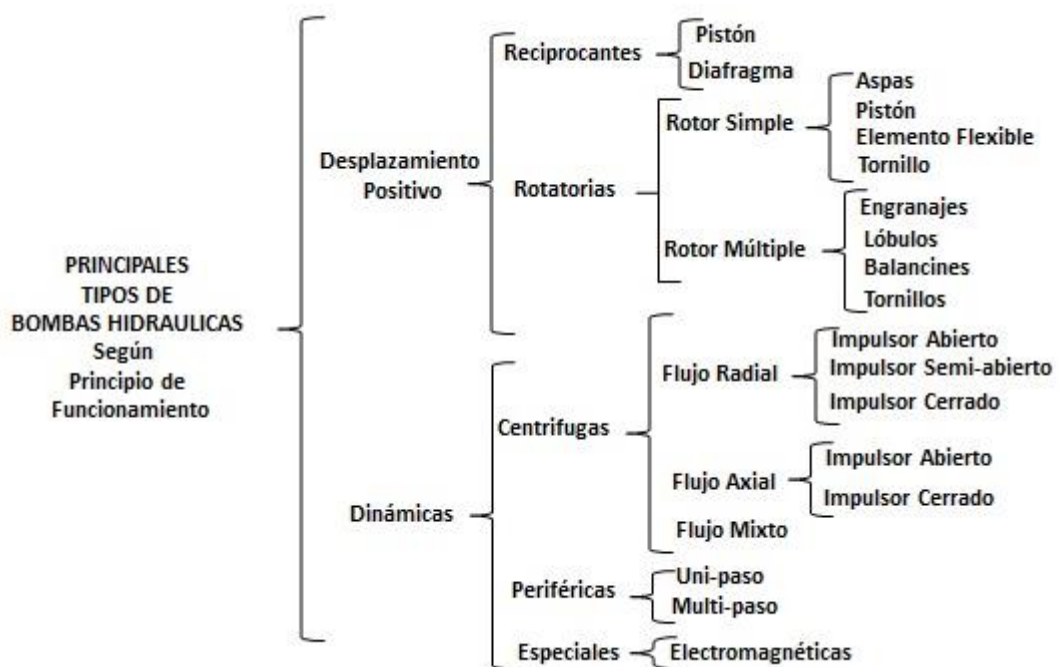
Se denomina bomba de agua al dispositivo que consigue convertir la energía mecánica que posibilita su accionar en energía de un fluido incompresible que ella misma consigue desplazar. Cuando aumenta la energía del fluido (el agua), además logra incrementar su presión, su altura o su velocidad. (definicion.de, 2008)

Una bomba de agua es una máquina hidráulica cuyo funcionamiento se basa en el principio de Bernoulli, según el cual, en un fluido ideal sin viscosidad, ni rozamiento, e incompresible que se encuentra en circulación por un conducto cerrado, su energía permanece constante en cada punto de su recorrido. (ingenieria-mecanica, 2020)

2.1.3.1. Tipos de bombas

Una bomba hidráulica es una máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos de un lugar a otro, transformando la energía mecánica que impulsa el mecanismo, principalmente en energía cinética dada por la velocidad del fluido, en energía potencial dada por el cambio de posición del fluido a diferentes alturas y en energía de presión dada por la fuerza sobre área o presión, desde la condición inicial a su condición final. Este cálculo de variación de estas energías se explica mediante la Ecuación matemática de Bernoulli, que se utiliza para calcular los sistemas de bombeo y seleccionar la bomba adecuada. También intervienen otras formas de energía, como la térmica por calentamiento del fluido, la energía en forma de ruido, etc. (Portal-Electromecánico, n.d.)

Figura N°2: Clasificación de tipo de bombas de agua.



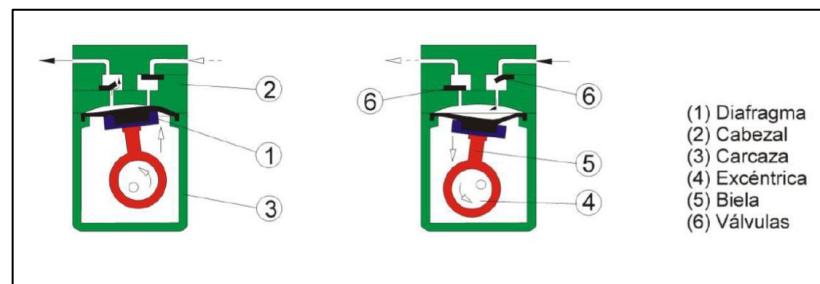
Fuente:

https://portalelectromecanico.com/CURSOS/MaquinasMecanicas/tipos_de_bombas_hidraulicas.html

2.1.3.2. Bombas de diafragma mecánicas

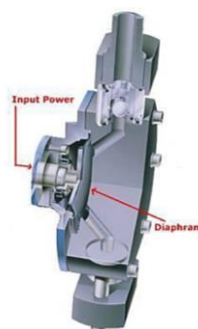
Estas bombas difieren de las de pistón sólo en que el espacio variable o cámara de compresión de volumen variable se logra por la deformación de un diafragma en lugar del movimiento de un pistón. Véase el esquema de su funcionamiento en la Figura N°03 y un corte de una bomba real en la Figura N°04. Esta solución no permite llegar a presiones tan elevadas como con las de pistón; tienen como parte débil el diafragma, que está sometido a flexiones repetidas. Su principal ventaja radica en la ausencia total de fugas en la bomba. (IMFIA, 2009)

Figura N°3: Bomba de diafragma.



Fuente: IMFIA (2009) "Maquinas para fluidos I". INSTITUTO DE MECÁNICA DE
LOS FLUIDOS E INGENIERÍA AMBIENTAL.

Figura N°4: Bomba de diafragma – Corte.



Fuente: IMFIA (2009) "Maquinas para fluidos I". INSTITUTO DE MECÁNICA DE
LOS FLUIDOS E INGENIERÍA AMBIENTAL.



2.1.4. Humedad del suelo

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Establecer el índice de humedad del suelo es de vital importancia para las actividades agrícolas, es importante recordar que: (Biología de Suelos, 2020)

- Los niveles de humedad del suelo determinan el momento del riego.
- La humedad del suelo se puede estimar por el aspecto del terreno.
- Se debe controlar la humedad al menos en una sección del área del campo que difiera de las demás en cuanto a la textura y aspecto del suelo.

La aplicación de riego en el momento exacto y en la cantidad apropiada es fundamental para obtener un buen rendimiento de los cultivos. El exceso de agua reduce el crecimiento al arrastrar los nitratos a una profundidad superior al alcance de las raíces de los cultivos, y al desplazar el aire contenido en el interior del suelo provoca la escasez de oxígeno en las raíces. La falta de agua también es perjudicial para los cultivos, por lo que se debe controlar regularmente el nivel de humedad del suelo para determinar cuándo regar y qué cantidad de agua se debe aplicar. (Biología de Suelos, 2020)

2.1.4.1. Contenido de humedad de suelo

El contenido de la humedad de suelo es expresado de dos maneras:

a. Por unidad de masa de suelo:

Conocido como Humedad Gravimétrica (W), es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida.

$$W = \frac{M_a}{M_s} (gr / gr; tn / tn) \dots \dots \dots (Ec. 1)$$

Donde:

Ma: es masa de agua

Ms: es masa de suelo

Generalmente se expresa en porcentaje:

$$W\% = \frac{M_a}{M_s} \times 100 \dots \dots \dots \text{(Ec. 2)}$$

b. Por unidad de volumen de suelo:

Conocido como Humedad Volumétrica (θ TITA), se muestra con la siguiente expresión:

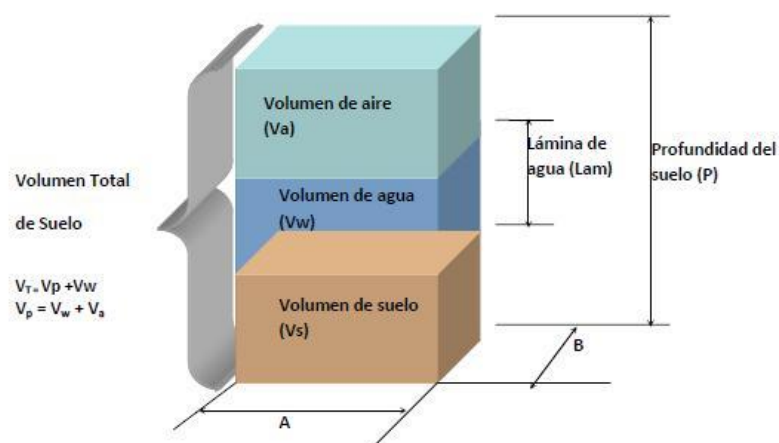
$$\theta(\%) = \frac{V_w}{V_T} \times 100 \dots \dots \dots \text{(Ec. 3)}$$

Donde:

θ : Es el contenido de humedad con base en volumen en porcentaje decimal.

V_w : Es el volumen ocupado por el agua.

Figura N°5: Volumen de aire.



Fuente: <https://docplayer.es/83917515-Facultad-de-ingenieria.html>

Donde:

Lam: Lámina de agua en el suelo (mm).

P: Profundidad del suelo.

$$\theta = w \frac{\rho_a}{\rho_w} = W \rho_{ea} \dots \dots \dots \text{(Ec. 4)}$$

$$\theta = \frac{Ax B x Lam}{Ax B x P} \dots \dots \dots \text{(Ec. 5)}$$

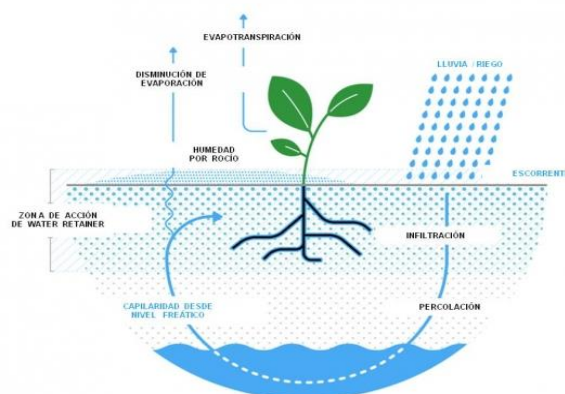
$$Lam = \theta x P \dots \dots \dots \text{(Ec. 6)}$$

La expresión lámina corresponde a la altura (Lam) que tendría el agua en el suelo en el diagrama hipotético de los componentes del suelo.

Balance de humedad en el suelo

Conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad de agua para los cultivos en estudios de experimentación para riego tecnificado.

Figura N°6: Balance hídrico del suelo.



Fuente: <https://www.terramarket.cl/insumos-agricolas/water-retainer-ahorre-agua-de-riego-y-energia-hasta-en-un-50-400.html>



2.1.4.2. La importancia de la humedad en el crecimiento de las plantas

Las plantas crecen bien sólo si la humedad en la sala de cultivo es adecuada porque la humedad afecta el rendimiento de las plantas de interior. Al regular la cantidad de vapor de agua en el aire, también se evita la aparición de moho y hongos. (Plagron, 2011)

2.1.5. Sistema de fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos que sirven para aprovechar la energía solar y convertirla en electricidad. Estos sistemas se basan en la capacidad que tienen las celdas fotovoltaicas de transformar la luz solar en energía eléctrica. (AEMET, n.d.)

2.1.5.1. La radiación solar

La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad.

La radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol. La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas, son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s Estas ondas electromagnéticas pueden tener diferentes longitudes de onda. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético. El

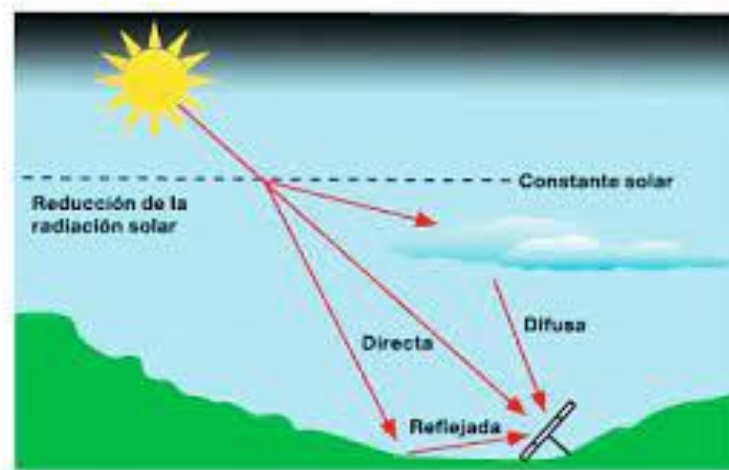
conjunto de las longitudes de onda emitidas por el Sol se denomina espectro solar.
(AEMET, n.d.)

Así mismo la energía que viene del sol hacia la tierra. Puede llegar de dos maneras:

- **Radiación Directa:** es la que llega desde el sol, sin que sufra algún desvío en su camino.
- **Radiación Difusa:** es la que sufre cambios en su dirección, principalmente debido a la reflexión y difusión de la atmósfera.

La radiación se mide en KWh/m². (Kilo watts-hora por metro cuadrado).

Figura N°7: Componentes de la radiación solar en la tierra.



Fuente: https://www.cdt.cl/?post_type=dlm_download&p=76553

- **Energía solar:**

La energía solar es una fuente de energía gratuita, limpia, renovable e ilimitada proveniente de la estrella más cercana a la tierra, el sol. El cual, mediante un proceso de fusión nuclear libera su energía, la que se transporta en forma de ondas electromagnéticas con distintas longitudes de ondas, dentro de las que se encuentran la luz visible, los rayos UV, radiación infrarroja entre otras. Esta energía puede generar calor y electricidad y los

tipos de energía solar varían según la manera que esta se recoge, las que se encuentran: la fotovoltaica (transforma las ondas en electricidad mediante paneles solares), fototérmica (aprovecha el calor a través de colectores solares) y termoeléctrica (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta). (CDT, n.d.)

En el ámbito fotovoltaico existen dos magnitudes utilizadas, la irradiación y la radiación:

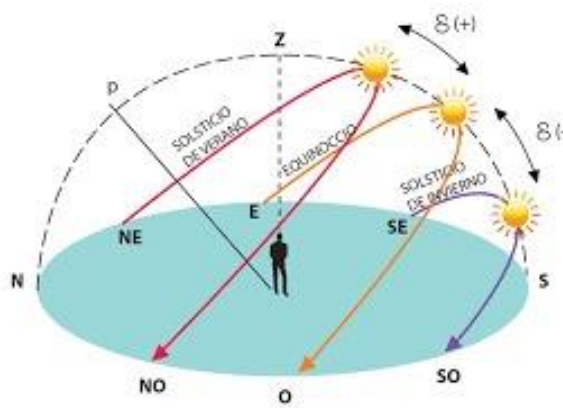
- **La irradiación:** se define como la relación de la potencia incidente (P_{inc}) por la superficie que la recibe.
- **la radiación:** es la cantidad de irradiación recibida en un tiempo determinado, por lo tanto, es una medida de energía [$kWh\ m^2//dia$] o [$kWh\ m^2//año$]

$$E = \frac{P_{inc}}{A} [W / m^2] \dots\dots\dots (Ec. 7)$$

2.1.5.1.1. Trayectoria anual del sol

Debido a la existencia del ángulo de declinación solar, el sol nace y se pierde en diferentes puntos de lo cual se describe una trayectoria con inclinación diferente en cada día del año como se muestra en la figura. (Cooper, 1969)

Figura N°8: Recorrido solar anual.



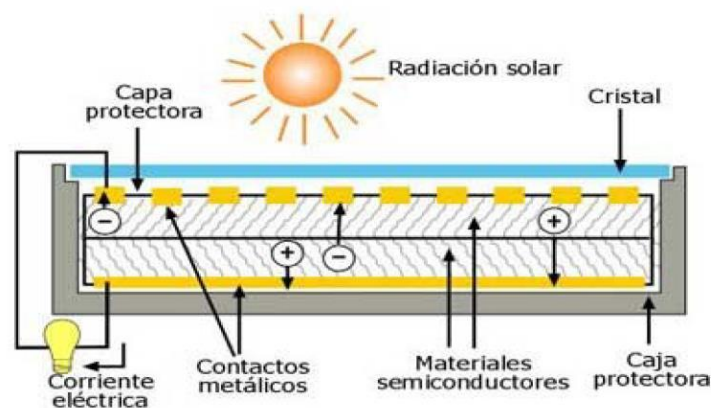
Fuente: <http://www.atmosfera.cl/HTML>

2.1.5.2. Conversión de energía

Las células solares están hechas de materiales semiconductores, que poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada banda de valencia. Cuando se aplica una cierta cantidad de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada banda de conducción. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso. (Perpiñan, 2020)

El flujo de electrones en el circuito exterior se llama corriente de la célula y su producto por el voltaje con el que se liberan los electrones por los contactos selectivos determina la potencia generada. Todo esto ocurre a temperatura ambiente y sin partes móviles, pues las células solares, que convierten en electricidad sólo una parte de la energía de los fotones absorbidos se calientan sólo unos 25-30°C por encima de la temperatura ambiente. (Perpiñan, 2020)

Figura N°9: Conversión de energía en la célula.



Fuente: <http://www.empresaeiciente.com>



La estructura típica de una célula solar es una unión p-n similar a los diodos semiconductores. En las aplicaciones fotovoltaicas, las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, que es el producto final vendido al usuario. Estos módulos producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna, más útil, mediante un dispositivo electrónico llamado inversor. (Perpiñan, 2020)

2.1.5.3. Células solares

Las células solares son los elementos encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica.

2.1.5.3.1. Principio de funcionamiento

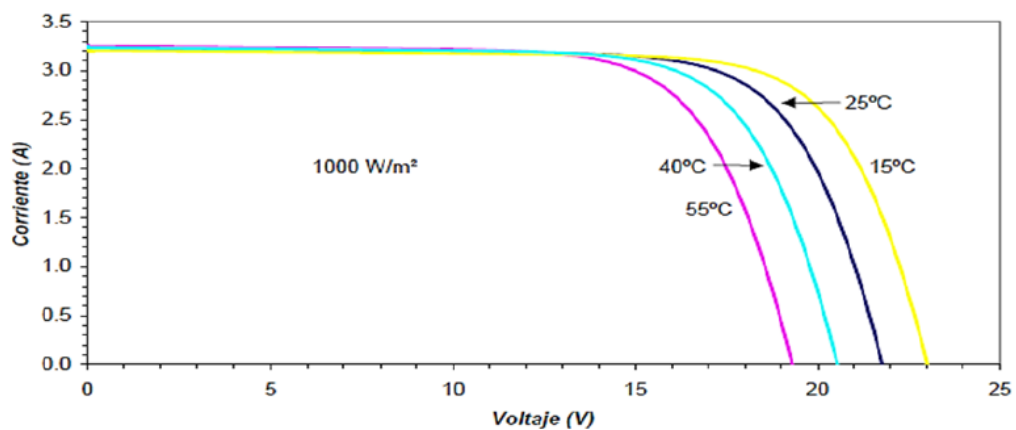
La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan las células solares, constituidas por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante (mediante una unión p-n). (Perpiñan, 2020)

Cuando sobre un semiconductor incide una radiación luminosa con energía suficiente para romper los enlaces de los electrones de valencia y generar pares electrón-hueco, la existencia de una unión p-n separa dichos pares, afluyendo electrones a la zona n y huecos a la zona p, creando en resumen una corriente eléctrica que atraviesa la unión desde la zona n a p, y que puede ser entregada a un circuito exterior (saliendo por la zona p y entrando por la n). De esta manera, cuando se expone una célula solar a la luz del sol se hace posible la circulación de electrones y la aparición de corriente eléctrica entre las dos caras de la célula. (Perpiñan, 2020)

2.1.5.3.2. Efectos de la intensidad luminosa y la temperatura

El generador fotovoltaico se calienta al exponerse al sol como cualquier otro captador solar. Este aumento de temperatura afecta sus características eléctricas, lo cual se ve reflejado en una ganancia marginal de ISC, mientras que el voltaje se ve afectado más significativamente a la baja, conforme aumenta la temperatura (Figura 20). En la práctica, esto se traduce en una baja de la potencia entregada por el mismo, lo que significa también una menor eficiencia. (LAMIGUEIRO, MARZO DE 2013)

Figura N°10: Efectos de la temperatura y potencia solar



Fuente: Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es/>

2.1.5.3.3. Tipos de células solares

El principal material empleado para la construcción de las células es el silicio, el cual se presenta en diversas estructuras, que a su vez dan origen a una clasificación de dichas células en los siguientes tipos:

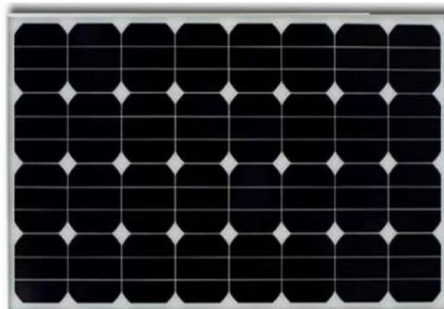
A. Silicio monocristalino.

Son las primeras células fotovoltaicas que salieron al mercado y son las más utilizadas. Su superficie homogénea y de color azul, puede tomar forma redonda o cuadrada. Aunque su fabricación es más compleja que la del resto, y su costo es superior,

su rendimiento es el más elevado, lo cual se traduce en una reducción de espacio. Se obtienen cortando obleas de un solo cristal de silicio puro. (Perpiñan, 2020)

El grosor de las células es del orden de 300 micras. Su rendimiento se sitúa entre el 15 y 20% en la fabricación en serie, cifrándose la duración de las células entre 25 y 30 años.

Figura N°11: Aspecto de una red de células de silicio monocristalino.



Fuente: <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>

B. Silicio policristalino.

Se elaboran a partir de obleas formadas por muchos cristales de silicio. El rendimiento de estas células se encuentra entre el 10 y el 15% en la fabricación en serie. En general, ocupan un tercio más de espacio que las monocristalinas, son de constitución cuadrada y tienen un precio inferior. (Perpiñan, 2020)

Las células de silicio policristalino se distinguen claramente porque la superficie de la célula tiene muchos tonos diferentes de color azul. (Perpiñan, 2020)

Actualmente son la tecnología mayoritaria en términos de producción.

Figura N°12: Células policristalinas.



Fuente: <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>

C. Silicio amorfo

Dentro de la tecnología del silicio en capa delgada, destaca la de la a-si (silicio amorfo).

La célula se fabrica depositando átomos de silicio en un material de sustrato, que puede ser rígido o flexible (figura 10). Durante la solidificación, los átomos no pueden enlazarse entre sí, por lo que quedan desordenados, sin formar una estructura cristalina. (Perpiñan, 2020)

Figura N°13: Célula de capa delgada montada sobre un sustrato flexible.



Fuente: <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>

Tabla N°2: Características de las diferentes células solares.

| TIPO DE CELULA | RENDIMIENTO | CARACTERISTICAS |
|----------------|-------------|---|
| Monocristalino | 15-18% | <ul style="list-style-type: none">• Cristal único• Buen rendimiento• Color azul homogéneo |
| Policristalino | 12-14% | <ul style="list-style-type: none">• Diferentes cristales elementales• Precio inferior al del anterior• Diferentes tonalidades de azul |
| Amorfo | <10% | <ul style="list-style-type: none">• Capa delgada• Células flexibles en forma de laminas• Color marrón homogéneo |

Fuente: <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>

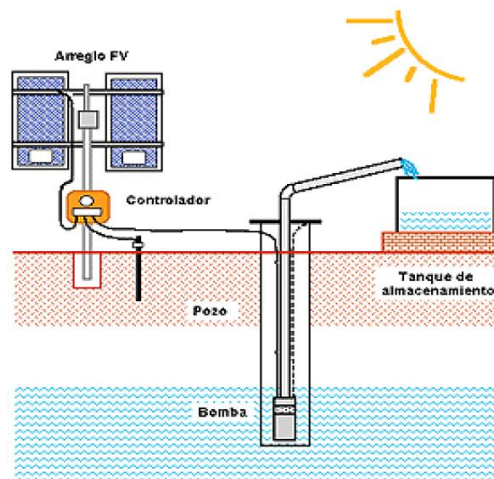
2.1.5.4. Instalación

Una instalación fotovoltaica está compuesta por un grupo generador, formado por una extensión de paneles solares fotovoltaicos, un regulador de carga, un grupo acumulador y un inversor. (Perpiñan, 2020)

Durante las horas de insolación, los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica en forma de corriente continua que es almacenada en los acumuladores. En los momentos de consumo energético, los acumuladores suministran esta electricidad, teniendo que ser transformada en corriente alterna por el inversor, a los receptores. (Perpiñan, 2020)

La potencia de las instalaciones fotovoltaicas se da en Wp, que corresponde a la potencia que dan los módulos a 25°C de temperatura y bajo condiciones de insolación de 1000 W/m². La potencia en Wp del módulo corresponde, aproximadamente, a la potencia máxima que puede generar. (Perpiñan, 2020)

Figura N°14: Partes de una instalación fotovoltaica.



Fuente: <http://solar.nmsu.edu>

2.1.5.5. Conceptos importantes para el dimensionado y ubicación de los paneles

Durante el desarrollo de un proyecto con paneles fotovoltaicos, es necesario tener en cuenta algunos conceptos importantes que influyen directamente en los cálculos a realizar para el dimensionado, en la ubicación y orientación de los mismos, ellos son:

A. Irradiancia.

Se define como la potencia instantánea de radiación solar recibida por unidad de superficie, su unidad de medida según el Sistema Internacional de medidas (SI) es el kW/m². Todos los instrumentos de medida de la “radiación” solar, miden en realidad la irradiancia, ya que siempre se mide la cantidad de potencia que es recibida por metro cuadrado, dichas mediciones se realizan cada cierto tiempo, con lo cual, luego de un tratamiento de datos se obtiene la irradiación solar. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)



B. Irradiación.

Es la energía solar que llega a una superficie determinada durante cierta cantidad de tiempo y se puede obtener al integrar la irradiancia en un periodo determinado. Según el Sistema Internacional de medidas, su unidad es el kWh/m². (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

C. Hora solar pico.

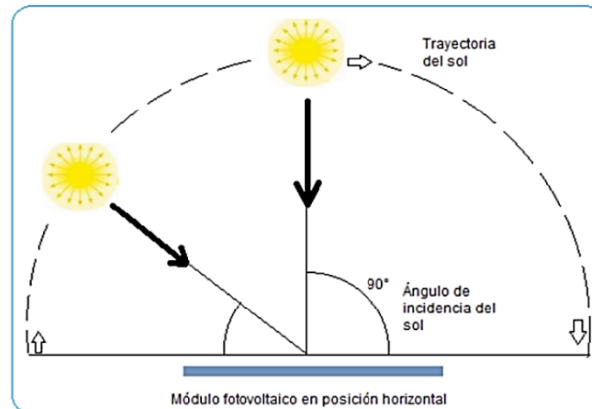
Las horas solar pico (HSP), se pueden definir como la cantidad de horas del día en las cuales posiblemente se dispone de una irradiancia solar constante de 1000 W/m².

Para calcular su valor, es necesario dividir el valor de la irradiación incidente en el sitio entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar (STC), que es 1000 W/m², ya que como se vio anteriormente, es bajo estas condiciones que se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos o paneles solares. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

D. Ángulo de incidencia.

Es el ángulo con el cual los rayos del sol impactan una superficie. Para el caso de los módulos fotovoltaicos lo ideal es utilizar un seguidor solar para maximizar la cantidad de energía captada, ya que, para éstos, un ángulo de incidencia de 90 ° es lo óptimo, pero solo se alcanza dicho ángulo al medio día si el módulo está fija en una posición horizontal. La variación del ángulo de incidencia según la trayectoria del sol sobre un panel ubicado horizontalmente se puede apreciar en la figura. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Figura N°15: Ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre un módulo en posición horizontal.



Fuente: Valentín Labarta 2018. Instalaciones solares fotovoltaicas.

Es importante aclarar que los seguidores solo son recomendables cuando se tienen altas potencias (superiores a 5000 Watt), porque de lo contrario, se incrementan costos de instalación y mantenimiento que disminuyen la viabilidad del proyecto; para lograr un buen aprovechamiento de la energía sin excederse en los costos, se debe evaluar de forma correcta el ángulo de inclinación y la orientación del panel, que son los factores fundamentales al momento de la instalación y se describirán a continuación. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

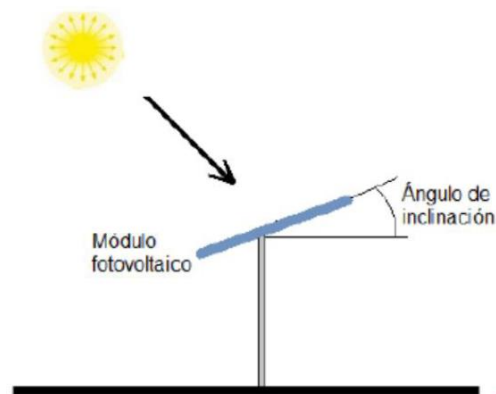
E. Potencia Pico (Pmp): Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto $V \times I$ es máximo. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

F. Orientación y ángulo de inclinación.

En los sistemas de baja potencia, lo ideal es tener una orientación y un ángulo de inclinación fijos, para reducir costos de instalación y mantenimiento. La orientación de los módulos se debe hacer con respecto al ecuador, así, para los sitios ubicados al sur del ecuador se deben orientar hacia el norte geográfico y los ubicados al norte, hacia el sur

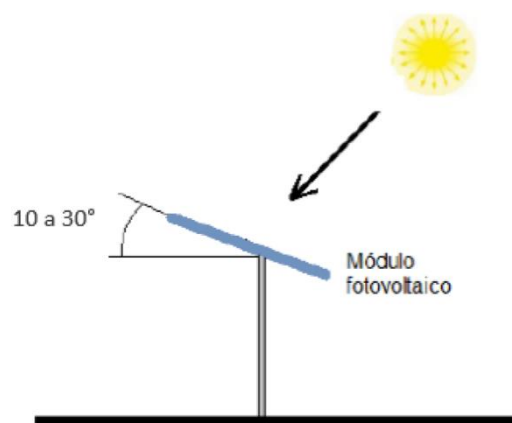
geográfico (ver figura N° 2.6.); el ángulo de inclinación depende de la ubicación geográfica del sitio. En la mayoría de las veces, dicho ángulo se elige sumando o restando grados al valor de la latitud, así, para Perú el valor recomendado es el de la latitud del lugar de instalación, siempre y cuando se mantenga un valor entre los 10 y 30°, para evitar estancamientos de agua en el módulo y acumulación de polvo u otras partículas. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Figura N°16: Orientación de los módulos fotovoltaicos para un sitio ubicado al sur.



Fuente: Valentín Labarta 2018. Instalaciones solares fotovoltaicas.

Figura N°17: Orientación y ángulo de inclinación recomendado para Perú (ubicada en latitud sur).



Fuente: Valentín Labarta 2018. Instalaciones solares fotovoltaicas.



2.1.5.6. Elementos de un sistema fotovoltaico

- **Panel solar o modulo fotovoltaico**

El panel fotovoltaico (FV), es el sistema captador de la energía solar en el que tiene una conversión directa, para proporcionar corriente eléctrica continua. Su tamaño (superficie captación), el rendimiento de componentes semiconductores, la irradiación solar en un momento dado y el ángulo sobre en el que se proyectan los rayos del sol, determinan la potencia proporcionada. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Es el generador del sistema, transformando la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente directa DC. El panel solar o conjunto de paneles deben ser determinados de tal manera que suministren la energía requerida por todo el sistema, donde se los aplique. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Un panel solar es el conjunto de celdas o células solares en una determinada configuración para conseguir un voltaje y una corriente específicos. Estos son construidos con silicio, material abundante en nuestro planeta. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

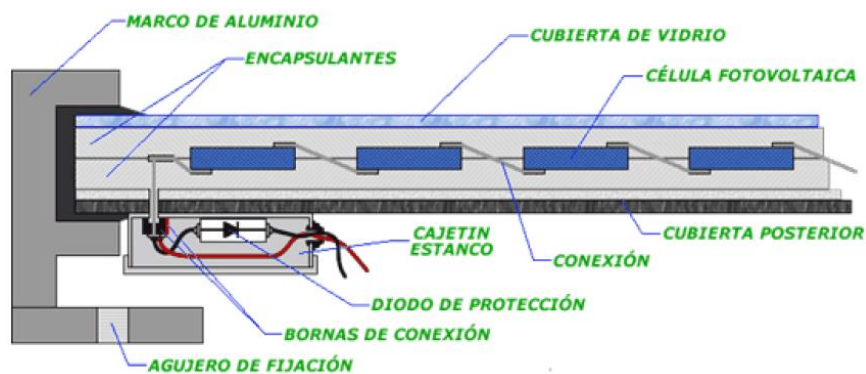
Cada celda típica de un panel fotovoltaico provee una cantidad relativamente pequeña de energía, por ejemplo una celda de silicio de 6cm de diámetro puede producir 0.5 amperios a 0.5 voltios. Por lo que es necesario realizar conexiones serie-paralelo de las celdas para que el panel tenga un voltaje y una corriente nominales estándar. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Para la protección física del panel y para que este pueda disipar el calor de la radiación solar no convertida en electricidad, se tienen capas de sustrato y vidrio

especiales protegiéndolo además del polvo, la lluvia y daños por corrosión. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Los valores de generación de potencia de los paneles solares van en el rango de 50-150 W/m².

Figura N°18: Partes de un panel fotovoltaico.



Fuente: <http://www.ujaen.es>.

2.1.5.7. Tipos de paneles solares fotovoltaicos

✓ Paneles Solares Termodinámicos.

Los paneles solares termodinámicos son la solución más popular últimamente, debido a su mayor eficiencia, mejor precio y mayor versatilidad. Son más eficientes debido a que son capaces de captar energía de cualquier estado meteorológico, la lluvia, el viento, la luna, etc. Son más versátiles por el peso de los paneles, mucho más ligeros que las demás alternativas. Además de estas ventajas, tanto los equipos como su instalación tienen un coste menor. (Sosa-Cutipa, 2017)

✓ Paneles solares térmicos.

Los paneles solares térmicos son los que funcionan de forma más simple. Consiste en que los rayos del sol calientan los paneles, que contienen un líquido caloportador que



circula hacia el interior de la vivienda. Estos son recomendables para zonas que tengan recepción directa del sol a altas temperaturas, preferiblemente en zonas rurales, donde hay espacio suficiente, ya que necesitan un tamaño mayor debido a la menor eficiencia de este tipo de panel. (Sosa-Cutipa, 2017)

✓ **Paneles solares fotovoltaicos.**

Los paneles solares fotovoltaicos fueron una revolución cuando se inventaron. Su implantación en los primeros edificios hizo que se vislumbrara por primera vez la posibilidad de generar suficiente energía como para abastecer las necesidades del propio edificio. Este tipo de sistema consiste en que la energía de la radiación solar se transmite a los electrones de los materiales semiconductores de los paneles, que consiguen así separarse del núcleo y trasladarse, creando una corriente eléctrica. (Sosa-Cutipa, 2017)

2.1.5.8. Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica

✓ **Ventajas**

- a) Es energía no contaminante.
- b) Proviene de una fuente de energía inagotable.
- c) Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (campo, islas).
- d) Los sistemas de captación solar son de fácil mantenimiento.
- e) El costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando (el costo de los combustibles aumenta con el paso del tiempo porque cada vez hay menos).

✓ **Inconvenientes**

- a) El nivel de radiación fluctúa de una zona a otra y de una estación del año a otra, en nuestra zona varía un 20% de verano a invierno).



- b) Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
- c) Requiere gran inversión inicial.
- d) Se debe complementar este método de convertir energía con otros.
- e) Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovechara para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc.).
- f) Se tiene que instalar en un lugar donde haya radiación solar.
- g) menor rendimiento.
- h) Su instalación debe ser en zonas donde la radiación solar sea mayoritaria, diaria y anualmente.
- i) Tiene menos rendimiento que otros sistemas.
- j) Su mecánica es más compleja que otros sistemas de aprovechamiento de energías.
- k) Tiene peligro por las altas temperaturas que alcanza.

2.1.5.9. Baterías

Las baterías son dispositivos compuestos por una o varias celdas electroquímicas, las cuales convierten la energía química en energía eléctrica. En sistemas fotovoltaicos, cumplen la función de almacenar la energía eléctrica para su uso posterior, además permite estabilizar el voltaje del sistema. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Su uso tiene algunas repercusiones desfavorables en el diseño de sistemas fotovoltaicos y eólicos tales como el aumento de su costo inicial, el incremento de los requerimientos de mantenimiento y la disminución del rendimiento del sistema. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)



2.1.5.9.1. Tipos de baterías

Según los componentes de las baterías, éstas se clasifican en los siguientes tipos:

- Baterías de Plomo – ácido
- Baterías de Níquel – Cadmio
- Baterías de Níquel – Zinc
- Baterías de Zinc – Cloro

En la actualidad, más del 90% del mercado de acumuladores corresponde a las baterías de plomo ácido. En general, éstas son las que mejor se adaptan tanto a sistemas eólicos como fotovoltaicos. Dentro de las de Plomo – ácido, se encuentran las de Plomo – Calcio, que tienen una baja autodescarga y las de Plomo – Antimonio de tipo abierto y tubular que se deterioran menos con la sucesión de ciclos, presentan mejores propiedades para niveles de baja carga, soportan grandes descargas y tienen una vida media de diez a quince años dependiendo de las condiciones de uso. (Llantas, 2018)

Las baterías de plomo - ácido pueden ser también de electrolito líquido o electrolito cautivo, las primeras, son por lo general abiertas, es decir, se les puede agregar agua, son más robustas y de mayor duración cuando se les agrega agua periódicamente. (Llantas, 2018)

Actualmente, en el mercado se puede encontrar una alta diversidad de baterías de plomo – ácido, que según sea el caso, pueden ser útiles para los sistemas fotovoltaicos y eólicos, algunas de ellas se pueden observar en la tabla N° 3.

Tabla N°3: Tipos de baterías disponibles en el mercado.

| Tipo de batería | Descripción | Ventajas | Desventajas |
|----------------------|--|---|---|
| Batería de arranque | Son las usadas en los automóviles, derivan su nombre de su función de arrancar el motor del vehículo suministrando una gran cantidad de energía durante muy poco tiempo. Contienen placas de plomo muy delgado y esponjoso. | Son la opción más económica disponible en el mercado. | Generalmente no son aptas para sistemas fotovoltaicos, duran poco tiempo ya que no están diseñadas para soportar regímenes de descarga altos. |
| Baterías híbridas | También llamadas baterías solares o marinas, poseen electrodos con un agregado de plomo-antimonio que permite una mayor profundidad de descarga. Contienen placas de plomo más gruesas y mayor capacidad para electrolito que las de arranque. | Ofrecen una buena relación calidad-precio para sistemas fotovoltaicos de baja potencia. Su vida útil tiende a ser entre 600 y 2000 ciclos para profundidades de descarga inferiores al 25%. | Tienen una vida útil reducida si se manejan ciclos de descarga profundos (mayores a 25%). |
| Baterías de tracción | Contienen placas de plomo gruesas de mayor densidad que las baterías de | Toleran ciclos de descarga más profundos que las anteriores. El | Debido a su alto contenido de plomo-antimonio pierden más |

(Continuación...)

| | | | |
|--|---|--|---|
| | arranque, con un alto contenido de plomo-antimonio. | antimonio en las placas aumenta su vida útil y resistencia. | electrolito por gasificación, por lo cual requiere un relleno frecuente con agua destilada. |
| Baterías de placas tubulares de ácido líquido o gel | Los terminales positivos están fabricados en células tubulares en | Aguantan ciclos de descarga muy profundos con larga vida útil. Suelen | Don muy costosas y se suelen usar en instalaciones grandes, donde se |
| lugar de placas planas, protegidos por una membrana <u>tubular se</u> adaptan muy bien a los sistemas fotovoltaicos de elevada potencia. | tener cajas transparentes que permiten ver rápidamente el nivel del electrolito. | justifica el precio elevado con una larga vida útil a ciclos de descarga profundos. | |
| Baterías de recombinación (VRLA) | Durante el proceso de gasificación, el hidrógeno se recombina dentro de la batería como electrolito. Si se sobrecargan, tienen una válvula de seguridad que evita las presiones extremas dentro de la caja. | Son útiles cuando se desea minimizar el mantenimiento, siempre y cuando el ciclo de descarga sea poco profundo y el regulador de carga sea el adecuado. | Sus costos son elevados y no toleran ciclos de descarga profundos. |
| Baterías de gel | Tienen un electrolito de ácido sulfúrico convertido en gel, vienen sellados de fábrica. | Son libres de mantenimiento e inmunes a la estratificación. Algunas pueden soportar descargas profundas. Tienen una tasa de auto descarga baja. | Son muy sensibles a la tensión de carga, al as sobre cargas y a las corrientes elevadas. |
| Baterías AGM | Estas baterías de electrolito absorbido contienen esteras de fibra de vidrio en las cuales el electrolito de ácido sulfúrico está absorbido. | Tienen una tasa de descarga muy baja, pueden tener ciclos de vida de 4 años a una profundidad de descarga del 40%. No emiten hidrógeno al cargar y son inmunes a la estratificación. | Tienen un costo elevado |

Fuente: Adaptado de: STYLE, Oliver. Energía solar autónoma



2.1.5.9.2. Especificaciones eléctricas de almacenamiento

Los principales parámetros eléctricos que definen las condiciones de uso de una batería son:

A. Tensión.

Indica el voltaje de trabajo de la batería, pueden ser de 6 V, 12 V, 24 V, etc., dependiendo del número de celdas internas que estén conectadas en serie.

B. Capacidad.

Parámetro que indica la cantidad de carga que se puede extraer de la batería en un determinado número de horas, expresada en amperios-hora [Ah]. La capacidad de almacenamiento de energía de la batería depende de la velocidad de descarga, es decir, del número de horas en el que se consumen la cantidad de amperios disponibles en la misma, por ejemplo, una batería de 100 Ah, puede suministrar 100 A durante una hora, 50 A durante dos horas o 25 A durante cuatro horas; dicha disminución de la velocidad de descarga, puede generar un aumento ligero en la capacidad de la batería, por el contrario, su aumento, produce una reducción de ésta. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

Otro factor que afecta la capacidad de la batería es su temperatura interna y la ambiente, ya que todos los fabricantes entregan una capacidad según estudios previos realizados para una determinada temperatura que también debe estar especificada en la ficha técnica.

Los fabricantes suelen expresar dentro de las características eléctricas la capacidad nominal, que equivale como ya se dijo a la capacidad en Ah que se le pueden extraer a la



batería y la capacidad útil, que corresponde al producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga permitida para que la batería tenga una cierta cantidad de vida útil. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

C. Profundidad de descarga.

Representa el cociente entre la carga extraída y su capacidad nominal. Se da en porcentaje, el cual representa la cantidad de carga que se puede extraer a la batería respecto a su capacidad total. Sus valores varían dependiendo de los tipos de batería y de sus aplicaciones, así pues, pueden ser de descarga superficiales de alrededor de 20%, que son las utilizadas en automóviles o de descargas profundas de hasta el 80%, empleadas en sistemas fotovoltaicos. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

D. Ciclos de vida.

Indicación que da el fabricante del número de veces que es posible cargar completamente la batería durante su vida útil según ciertos valores en los porcentajes de la profundidad de descarga. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

E. Auto descarga.

Este término hace referencia a la pérdida de energía que experimentan las baterías cuando están inactivas. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

2.1.5.9.3. Determinación de la capacidad de almacenamiento

El sistema de acumulación de energía, está conformado por baterías que concentran la energía durante el tiempo en que no se tiene consumo, o éste es bajo y por lo tanto la energía generada es menor a la utilizada, para luego, entregar dicha energía



durante los periodos de tiempo en los que hay consumo, pero no hay generación (Perales, 2006, p.23).

Existen dos aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta para determinar la capacidad del sistema, los cuales son: (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

- La profundidad de descarga de la batería.
- Los días de autonomía del sistema.

De acuerdo a lo anterior, la ecuación que permite el cálculo del sistema de almacenamiento es:

$$C = W \times N \times V_{bat} \times P_d \dots \dots \dots \text{(Ec. 8)}$$

Dónde:

C = Capacidad del sistema.

W = Consumo diario de energía en Wh/día.

N = Número de días de autonomía.

V_{bat} = Tensión de la batería, que corresponde a la proporcionada por el panel solar o el aerogenerador.

P_d = Profundidad de descarga, en porcentaje.

El dimensionado del sistema de almacenamiento es uno de los más complejos, ya que en caso de no hacerse correctamente, se corre el riesgo de no mantener el banco de baterías cargado cuando está sobredimensionado o de no poder alimentar las cargas correctamente por el tiempo que se requiere en caso de estar demasiado pequeño. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)



2.1.5.10. Etapas de carga

Los reguladores de carga generalmente están diseñados para cargar la batería en 4 etapas:

A. Carga inicial.

Cuando la tensión en la batería llega a un nivel determinado, el regulador permite el paso de la totalidad de la corriente disponible en el generador, hasta que la batería llegue a un estado de carga del 80%, donde inicia la etapa siguiente.

B. Carga de absorción.

El regulador mantiene la tensión final de carga reduciendo la corriente proveniente del generador hasta alcanzar el estado de carga total (100%). (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni,

C. Carga de flotación.

En esta etapa, el regulador permite el paso de una cantidad de corriente muy pequeña, cuyo fin es el de mantener el estado de carga total de la batería. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018) lo está presente en algunos reguladores que son especiales para las baterías de plomo – ácido con electrolito líquido. En este proceso, se somete la batería a una sobrecarga controlada para reducir la estratificación del ácido y la sulfatación dentro de la batería, además, permite equilibrar la tensión en las celdas de la misma. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)



2.1.5.11. Principales características eléctricas.

Se deben tener en cuenta dos características eléctricas fundamentales para la selección de un generador de carga, ellas son tensión y corriente nominal. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

A. Tensión nominal.

El regulador debe trabajar con el mismo voltaje que se tiene en el sistema; para sistemas fotovoltaicos pequeños lo más común es 12 V. En el mercado, los reguladores se encuentran disponibles en 12 V, 24 V y 48 V.

A. Intensidad nominal.

Es la corriente máxima que puede soportar el equipo. Cuando se vaya a seleccionar este dispositivo, es importante tener en cuenta que su corriente nominal sea mayor a la corriente máxima que puede entregar el sistema. (Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)(Choque-Arce & Ramos-Huanacuni, 2018)

2.1.5.12. Regulador de carga

El regulador es un convertidor de potencia que gestiona la energía producida por los módulos FV. Se utiliza para lograr un correcto funcionamiento de la instalación. Es necesario instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador. (Academia-Renovables, 2015)

Función:

Su función es evitar situaciones de sobrecarga y sobre descarga de la batería, lo que favorece asimismo la prolongación de su vida útil, básicamente por medio del uso de reguladores se puede:

- bloquear la corriente inversa.
- asegurar el llenado óptimo de la batería.
- prevenir de sobrecarga a la batería.

Figura N°19: Imágenes de reguladores de carga.

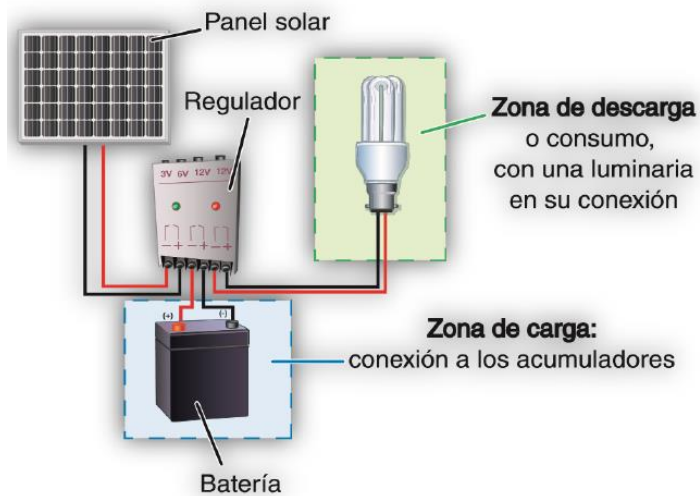


Fuente: reguladores, inversores y baterías 2015.

El regulador trabaja entre las dos zonas:

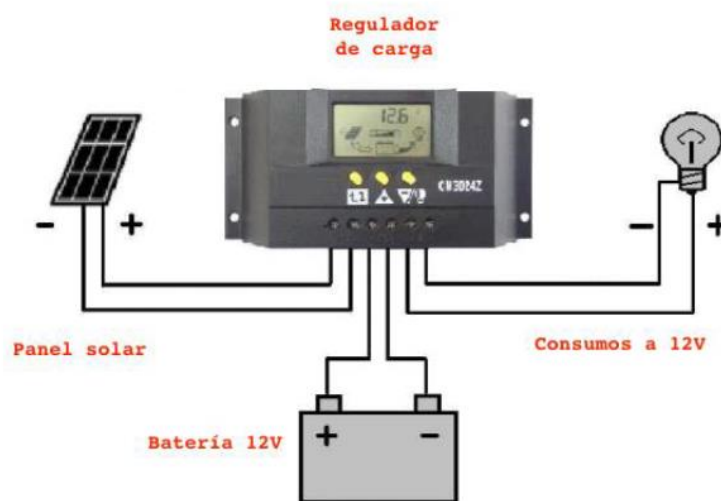
- En la parte relacionada con la carga: su misión consiste en garantizar una carga suficiente al acumulador, evitando así las situaciones de descarga.
- En la parte de descarga: se ocupa de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería.

Figura N°20: Esquemas de sistema FV con regulador de carga de baterías.



Fuente: reguladores, inversores y baterías 2015

Figura N°21: Regulador de carga de baterías



Fuente: reguladores, inversores y baterías 2015

2.1.5.12.1. Importancia del regulador

Podrían producirse sobrecargas dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la batería. La tensión nominal de los módulos es mayor por dos razones:



- Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- Asegurar la carga correcta de la batería: para ello, la tensión VOC del módulo deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera de asegurar que el suministro de energía en las peores condiciones de irradiación solar. Por este motivo se toman como referencia los valores de irradiación de invierno, lo que puede provocar que durante el verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble que en invierno. Esto podría llegar incluso a hacer “hervir” el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que esto implica. (Academia-Renovables, 2015)

2.1.5.12.2. Características dadas por los fabricantes

Los fabricantes son los que nos proporcionarán los valores de trabajo del regulador sobre una hoja de características. En estas hojas o fichas técnicas veremos:

- Características físicas del regulador: peso, dimensiones, material empleado en su fabricación, etc.
- Características eléctricas.
- Normas de seguridad que cumple.

Además, debemos considerar otro tipo de aspectos, como pueden ser medidas de seguridad, etc.

El regulador debe proteger tanto a la instalación como a las personas que lo manejen, por lo que deberá incluir sistemas que proporcionen las medidas de seguridad adecuadas. (Academia-Renovables, 2015)

2.1.5.12.3. Funcionamiento

Como mencionamos el regulador actúa entre los paneles solares y las baterías, para evitar las sobrecargas o sobre descargas de éstas. (Academia-Renovables, 2015)

2.1.5.12.4. Tipos de reguladores

Existen distintos tipos de reguladores, podemos clasificarlos por ejemplo según la tecnología del interruptor, cómo gestionan la energía o la posición del interruptor.

Tabla N°4: Tipos de reguladores.

| Clasificación | Tipo de regulador |
|---|--|
| Según <i>tecnología del interruptor</i> . | <ul style="list-style-type: none">•Relé electromecánico.•Estado sólido. |
| Según <i>gestión de la energía</i> . | <ul style="list-style-type: none">•PWM (pulse width modulation : modulación ancho de pulsos).•MPPT (Maximum Power Point Tracking: seguimiento del punto de máxima potencia) |
| Según <i>posición del interruptor</i> . | <ul style="list-style-type: none">•Serie.•Paralelo. |

Fuente: reguladores, inversores y baterías 2015.

En la clasificación según gestión de la energía, podemos hablar de PWM o de MPPT, una de sus principales diferencias es la siguiente:

Tabla N°5: Clasificación de inversores.

| PWM | MPPT |
|--|---|
| Trabajan siempre a la tensión de las baterías. | Trabajan en el punto de máxima potencia de los paneles. |

Fuente: reguladores, inversores y baterías 2015.



Los reguladores PWM son reguladores sencillos que actúan como interruptores entre las placas fotovoltaicas y la batería. Estos reguladores fuerzan a los módulos fotovoltaicos a trabajar a la tensión de la batería. Un regulador PWM utiliza el voltaje que necesita la batería o el grupo de baterías para su carga o descarga. Si el módulo fotovoltaico está en un determinado momento generando a 16V y la tensión de la batería es de 12V, para su carga el regulador suministrará el voltaje de la batería y los 4V de diferencia no serían aprovechados.

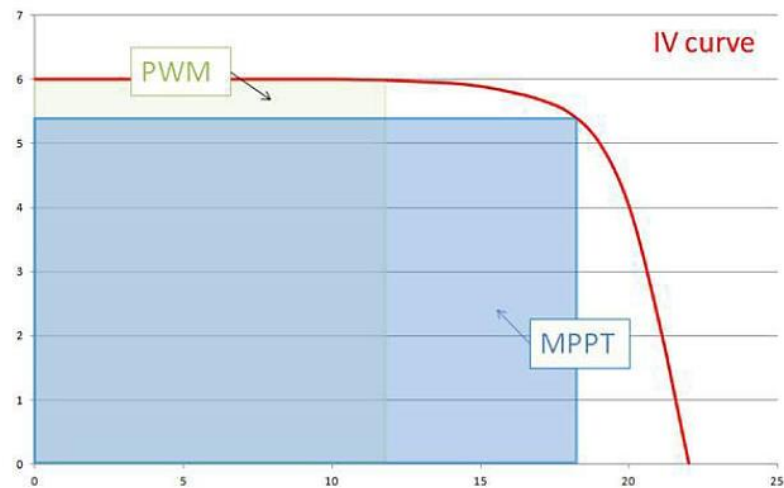
EL regulador solar MPPT es capaz de separar la tensión de funcionamiento del grupo de módulos solares f_v respecto de la tensión de la batería. Esto le permite situar la tensión de las placas solares en el punto óptimo para obtener la máxima potencia en cada momento. De ahí el nombre de “maximizador”. (Academia-Renovables, 2015)

Un regulador solar MPPT es un convertidor electrónico de corriente continua (CC) a corriente continua (CC) que optimiza el flujo eléctrico entre los paneles fotovoltaicos y el banco de baterías. Convierten una salida de corriente continua (CC) de mayor voltaje de los paneles solares a la tensión necesaria para cargar las baterías. El seguimiento del punto de máxima potencia de energía es un seguimiento electrónico. El regulador solar lee la salida de voltaje del panel o paneles fotovoltaicos y la compara con el voltaje de la batería. Luego se da cuenta de cuál es la mejor potencia que el panel puede suministrar para cargar la batería. Con esta información, convierte a la mejor la tensión de los paneles para obtener el máximo amperaje en la batería.

La mayoría de los reguladores solares MPPT tienen una eficiencia del 93-97% en la conversión. Por lo general, se obtiene una ganancia de potencia de 20 a 45% en invierno y 10-15% en verano. La ganancia real puede variar ampliamente según el clima, la

temperatura, el estado de carga de la batería y otros factores. (Academia-Renovables, 2015)

Figura N°22: Diferencia PWM y MPPT.



Fuente: reguladores, inversores y baterías 2015.

- Parámetros importantes para los reguladores:
 - Tipo de regulador (PWM o MPPT).
 - Tensión e Intensidad de corriente CC de Entrada.
 - Rango de tensión de MPPT (si corresponde).
 - Tensión e Intensidad de corriente CC de salida a la batería.

Debe calcularse cuál es la máxima corriente que debe soportar el regulador tanto a la entrada como a la salida.

2.1.5.13. Conductores eléctricos

Se aplica este concepto a los cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad.



Un conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente de cobre. Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.

El uso de uno y otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (capacidad para transportar la electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo. Estas características llevan a preferir al cobre en la elaboración de conductores eléctricos. El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es el cobre electrolítico de alta pureza, 99,99%.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar, este tipo de cobre se presenta en los siguientes grados de dureza o temple: duro, semi duro y blando o recocido. (PROCOBRE, 2013)

2.1.5.13.1. Partes que componen los conductores eléctricos

Estas son tres muy diferenciadas:

- El alma o elemento conductor.
- El aislamiento.
- Las cubiertas protectoras.

2.1.5.13.2. ELEMENTO CONDUCTOR

Se fabrica en cobre y su objetivo es servir de camino a la energía eléctrica desde las centrales generadoras a los centros de distribución (subestaciones, redes y empalmes), para alimentar a los diferentes centros de consumo (industriales, grupos habitacionales, etc.). (PROCOBRE, 2013)

De la forma cómo esté constituida esta alma depende la clasificación de los conductores eléctricos. Así tenemos:

- **Según su constitución**

Alambre: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por un solo elemento o hilo conductor

Figura N°23: Alambre.



Fuente: Procobre (2013) conductores eléctricos.

Se emplea en líneas aéreas, como conductor desnudo o aislado, en instalaciones eléctricas a la intemperie, en ductos o directamente sobre aisladores.

Cable: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por una serie de hilos conductores o alambres de baja sección, lo que le otorga una gran flexibilidad.

Figura N°24: Cable.



Fuente: Procobre (2013) conductores eléctricos.

- Según el número de conductores

Monoconductor: Conductor eléctrico con una sola alma conductora, con aislación y con o sin cubierta protectora.

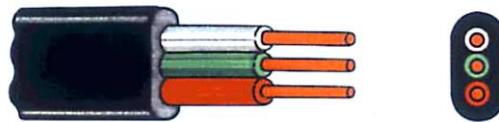
Figura N°25: Monoconductor.



Fuente: Procobre (2013) conductores eléctricos.

Multiconductor: Conductor de dos o más almas conductoras aisladas entre sí, envueltas cada una por su respectiva capa de aislación y con una o más cubiertas protectoras comunes.

Figura N°26: Multiconductor.



Fuente: Procobre (2013) conductores eléctricos.

2.1.5.13.3. El aislamiento

El objetivo de la aislación en un conductor es evitar que la energía eléctrica que circula por él, entre en contacto con las personas o con objetos, ya sean estos ductos, artefactos u otros elementos que forman parte de una instalación. Del mismo modo, la aislación debe evitar que conductores de distinto voltaje puedan hacer contacto entre sí.

Los materiales aislantes usados desde sus inicios han sido sustancias poliméricas, que en química se definen como un material o cuerpo químico formado por la unión de muchas moléculas idénticas, para formar una nueva molécula más gruesa.



Antiguamente los aislantes fueron de origen natural, gutapercha y papel. Posteriormente la tecnología los cambió por aislantes artificiales actuales de uso común en la fabricación de conductores eléctricos.

Los diferentes tipos de aislación de los conductores están dados por su comportamiento técnico y mecánico, considerando el medio ambiente y las condiciones de canalización a que se verán sometidos los conductores que ellos protegen, resistencia a los agentes químicos, a los rayos solares, a la humedad, a altas temperaturas, llamas, etc. Entre los materiales usados para la aislación de conductores podemos mencionar el PVC o cloruro de polivinilo, el polietileno o PE, el caucho, la goma, el neoprén y el nylon.

Si el diseño del conductor no consulta otro tipo de protección se le denomina aislación integral, porque el aislamiento cumple su función y la de revestimiento a la vez.

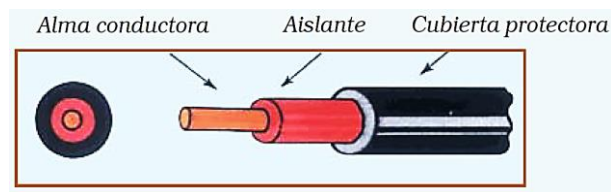
Cuando los conductores tienen otra protección polimérica sobre la aislación, esta última se llama revestimiento, chaqueta o cubierta. (PROCOBRE, 2013)

2.1.5.13.4. Las cubiertas protectoras

El objetivo fundamental de esta parte de un conductor es proteger la integridad de la aislación y del alma conductora contra daños mecánicos, tales como raspaduras, golpes, etc. Si las protecciones mecánicas son de acero, latón u otro material resistente, a ésta se le denomina «armadura» La «armadura» puede ser de cinta, alambre o alambres trenzados.

Los conductores también pueden estar dotados de una protección de tipo eléctrico formado por cintas de aluminio o cobre. En el caso que la protección, en vez de cinta esté constituida por alambres de cobre, se le denomina «pantalla» o «blindaje». (PROCOBRE, 2013)

Figura N°27: Cubiertas protectoras.



Fuente: Procobre (2013) conductores eléctricos.

2.1.5.13.5. Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a su aislación o número de hebras

- La parte más importante de un sistema de alimentación eléctrica está constituida por conductores. Al proyectar un sistema, ya sea de poder; de control o de información, deben respetarse ciertos parámetros imprescindibles para la especificación de la cablería. (PROCOBRE, 2013)ases y neutro, sistema de potencia, punto central aterramiento.
- Corriente o potencia a suministrar.
- Temperatura de servicio, temperatura ambiente y resistividad térmica de alrededores.
- Tipo de instalación, dimensiones (profundidad, radios de curvatura, distancia entre vanos, etc.).
- Sobrecargas o cargas intermitentes.
- Tipo de aislación.
- Cubierta protectora.

Todos estos parámetros están íntimamente ligados al tipo de aislación y a las diferencias constructivas de los conductores eléctricos, lo que permite determinar de acuerdo a estos antecedentes la clase de uso que se les dará.

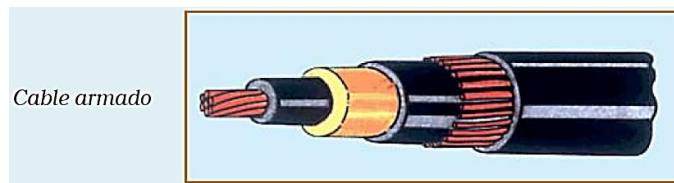
De acuerdo a éstos, podemos clasificar los conductores eléctricos según su aislación, construcción y número de hebras en monoconductores y multiconductores.

Tomando en cuenta su tipo, uso, medio ambiente y consumos que servirán, los conductores eléctricos se clasifican en la siguiente forma:

CONDUCTORES PARA DISTRIBUCIÓN Y PODER:

- Alambres y cables (N0 de hebras: 7 a 61)
- Tensiones de servicio: 0,6 a 35 kV (MT) y 46 a 65 kV (AT).
- Uso: Instalaciones de fuerza y alumbrado (aéreas, subterráneas e interiores).
- Tendido fijo.

Figura N°28: Cable armado.



Fuente: Procobre (2013) conductores eléctricos.

Conductores para control e instrumentación:

- Cable (N0de hebras: 2 a 27).
- Tensión de servicio: 600 volts.
- Uso: Operación e interconexión en zonas de hornos y altas temperaturas.
(ductos, bandejas, aérea o directamente bajo tierra).
- Tendido fijo.

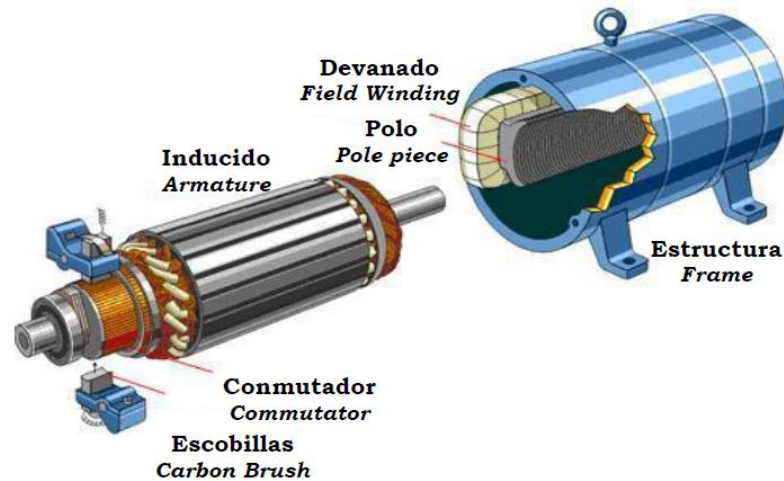


2.1.5.14. Motores eléctricos

Un motor DC está compuesto principalmente por el rotor (armature) y el inductor (stator) que a su vez se componen de: (Contreras & Sanchez, 2010)

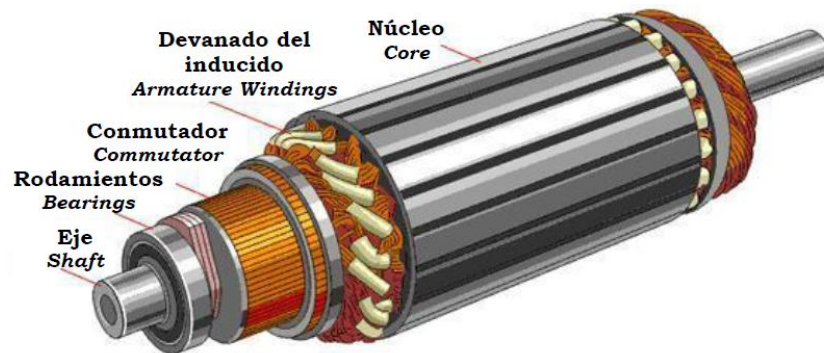
- Un imán fijo (Contreras & Sanchez, 2010) o (stator).
- Un bobinado denominado inducido que es capaz de girar en el interior del primero, cuando recibe una DC.
- Escobillas (brush assembly) cuya función es la de transmitir la corriente proveniente de la fuente DC al colector o conmutador. Las escobillas son de grafito, material menos duro que el del conmutador, con el fin de evitar el desgaste del mismo. Debido a que el acercamiento de las escobillas al conmutador debe ser continuo para evitar las chispas entre una conmutación y otra, las escobillas poseen un sistema de resortes que proveen la presión suficiente para generar un contacto adecuado entre estas y el conmutador. Hace parte de la estructura (frame).
- El colector o conmutador es un conjunto de láminas (delgas) que van montadas sobre el rotor, separadas entre sí y del eje por medio de materiales aislantes para evitar el contacto eléctrico con estos. Su función es la de mantener la corriente que viene de las escobillas en un flujo unidireccional y comunicándola de esta manera al inducido.
- Eje que tiene como responsabilidad ser la parte móvil del rotor y sobre el que van montados: el inducido, el colector o conmutador y el núcleo del inducido. Para facilitar su movimiento giratorio está soportado sobre cojinetes. (Contreras & Sanchez, 2010)

Figura N°29: Esquema de montaje general de un motor DC.



Fuente: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>

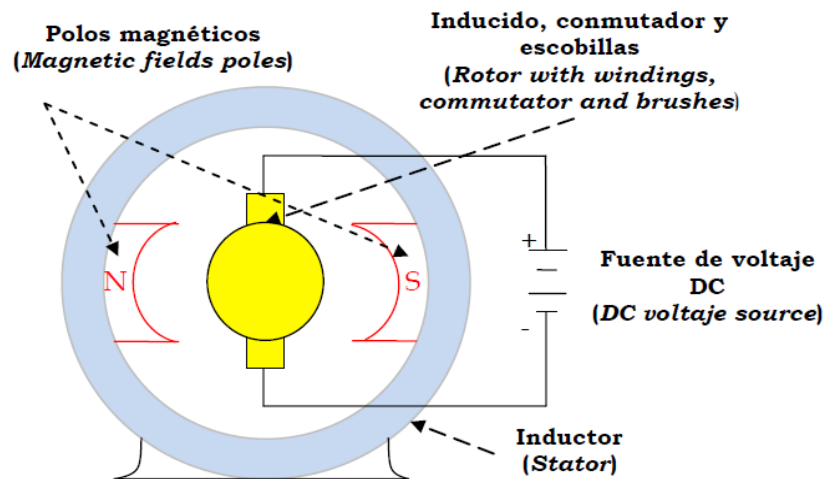
Figura N°30: Partes del rotor de un motor DC.



Fuente: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>

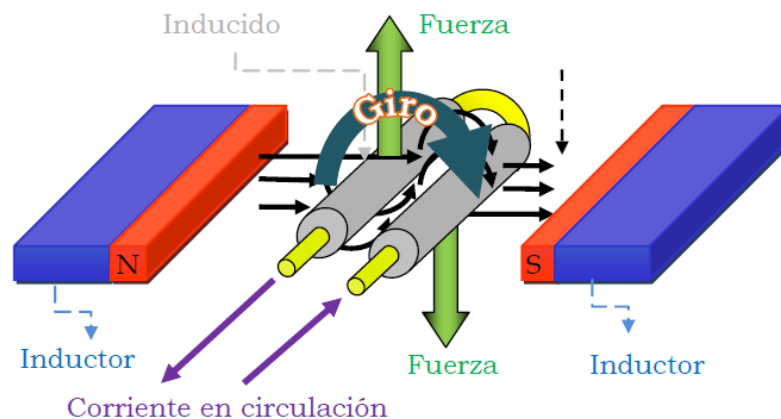
Un esquema de funcionamiento de un motor DC se presenta en la figura 22, donde se ve una espira del bobinado inmersa en el campo del inductor y recorrida por una DC, generándose un par que produce el giro. (Contreras & Sanchez, 2010)

Figura N°31: Esquema eléctrico de un motor DC.



Fuente: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>

Figura N°32: Esquema de funcionamiento de un motor eléctrico.



Fuente: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>

2.1.5.15. Potencia

La potencia, es la cantidad de energía consumida o entregada por una unidad de tiempo. La potencia se mide en Watts o Vatios, y se representa con la letra (W).

Es importante recordar que los equipos han sido diseñados y dimensionados requiriendo una determinada potencia para su funcionamiento. Esta potencia eléctrica en



casi todos los equipos viene expresada en watts (W). Para medir la potencia se relaciona el voltaje y el amperaje. (Valentin, 2018)

$$V = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (Ec. 9)$$

Voltaje = Potencia / Amperios

$$A = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (Ec. 10)$$

Amperios = Potencia / Voltios

$$W = VxA \dots\dots\dots (Ec. 11)$$

Potencia = Voltios x Amperios

2.1.5.16. Energía

La energía, es la cantidad de potencia de los equipos multiplicado por las horas que están encendidos. Su unidad de medida es Watt-Hora (Wh). Para calcular los (Wh) la formula sería:

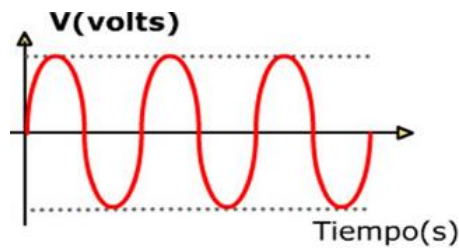
$$Wh = Wxh \dots\dots\dots (Ec. 12)$$

Energía = Potencia x # horas conectado

2.1.5.17. Corriente continua

es cuando el voltaje y polaridad se mantiene constante, es decir positivo y negativo no cambian. Por ejemplo, las pilas y baterías.

Figura N°33: Corriente continua.



Fuente: Manual de instalación de un sistema fotovoltaico domiciliario.

Tabla N°6: Símbolos eléctricos utilizados en los esquemas de instalación.

| Símbolo | Significado | Símbolo | Significado |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| | Corriente continua CC | | Lámpara, símbolo General |
| | Corriente Alterna CA | | Interruptor, normalmente abierto |
| | Polaridad Positiva | | Batería o acumulador |
| | Polaridad Negativa | | Voltímetro |
| | Interruptor automático | | Amperímetro |
| CABLE COLOR ROJO | Positivo | CABLE COLOR NEGRO | Negativo |
| ON | Encendido | OFF | Apagado |
| | Tierra | | Interruptor de protección |

Fuente: Manual de instalación de un sistema fotovoltaico domiciliario.

2.1.6. Sistema mecánico

2.1.6.1. Sistemas de transmisión de potencia

Los elementos mecánicos más empleados para transmitir la fuerza y el movimiento a través de cadenas cinemáticas son: transmisión mediante ruedas de fricción, las transmisiones por correa, la transmisión por cadena y los engranajes, ya que normalmente el movimiento que se transmite es circular. (mott, 2006)

2.1.6.2. Transmisión polea correa

Existen varios tipos de correas y poleas, las más frecuentemente utilizadas en máquinas son del tipo plana, trapezoidales (en V), hexagonales y de sincronización. En el caso de las trapezoidales pueden ser dentadas o lisas, simples o múltiples.

Este método de transmisión se utiliza cuando es necesario conectar árboles alineados y separados a cierta distancia. El mecanismo consiste en una correa sin fin de material flexible acoplada a dos o más poleas.

El principio de transmisión se desata al friccionar las correas flexibles contra la superficie lisa de las poleas, estas superficies se deslizan una sobre la otra provocar un patinamiento (excepto en las correas de sincronicas), por lo tanto, las velocidades entre las poleas no se respetan con exactitud, por lo que no es un mecanismo de precisión en la transmisión, pero sirven de fusible en el arranque de ciertos sistemas. (mott, 2006)

Figura N°34: Bandas más utilizadas en la transmisión por correas.

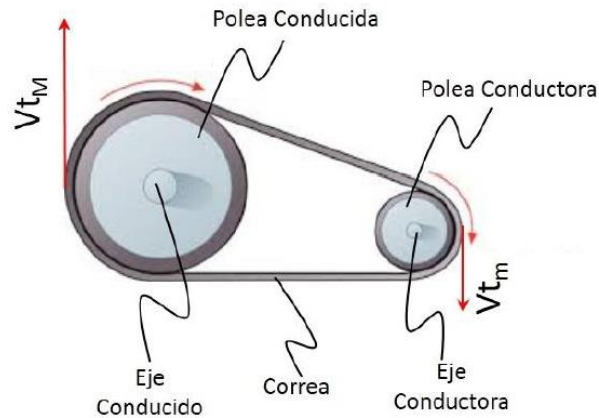


Fuente: Fuente: Transmisiones Industriales.

El sistema se compone, básicamente, de dos ejes (conductor y conducido), dos poleas (conductora –encargada de transmitir el movimiento- y conducida –encargada de recibir el movimiento-) y una correa; a los que se les puede añadir otros operadores como poleas locas o tensores cuya finalidad es mejorar el comportamiento del sistema; si no

existe deslizamiento entre la correa y las poleas, la velocidad tangencial de la polea conductora o motriz y la conducida o movida serán iguales. (mott, 2006)

Figura N°35: Mecanismo del Sistema de Transmisión por Correas.



Fuente: Fuente: Transmisiones Industriales.

Este sistema en general, transmite un movimiento giratorio de un eje a otro, modificando sus características de velocidad y en algunos casos de sentido. Normalmente los ejes suelen ser paralelos, pero en algunos otros casos también pueden ser perpendiculares, es decir, ejes que se cruzan a 90° . (mott, 2006)

La finalidad de cada elemento es:

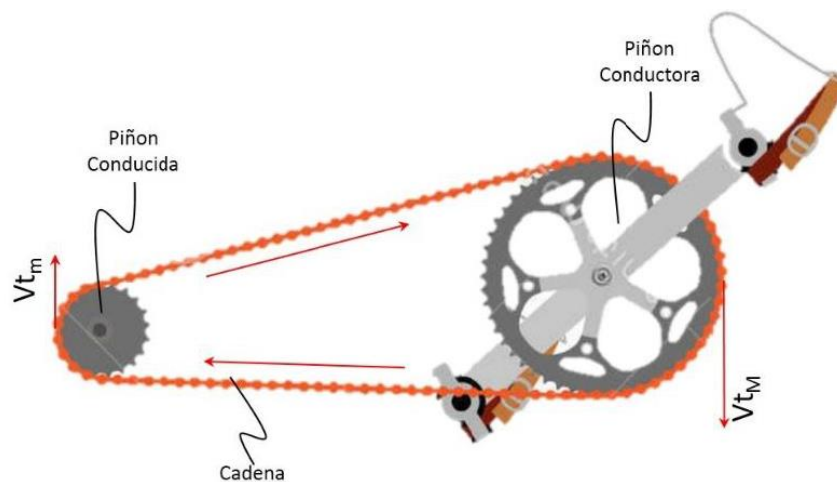
- Eje conductor: Es el eje motriz, el que dispone del movimiento que tiene que ser transmitido al otro eje (eje de motor).
- Eje conducido: Es el eje que tiene que ser movido (Eje Maquina).
- Polea conductora: Es la que está unida al eje conductor.
- Polea conducida Es la que está unida al eje conducido.
- Correa: Es un aro flexible que abraza ambas poleas y transmite el movimiento de una a otra.

2.1.6.3. Transmisión piñón cadena

Al igual que el anterior tipo, permite transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes, que siempre deben ser paralelos, pudiendo modificar la velocidad, pero no el sentido de giro (no es posible hacer que un eje gire en sentido horario y el otro en antihorario), ni el ángulo entre los ejes.

Se emplea en sustitución de los reductores de velocidad de cadena-polea, cuando lo importante es evitar el deslizamiento entre la rueda conductora y el mecanismo de transmisión.

Figura N°36: Mecanismo del Sistema de Transmisión por Cadenas.



Fuente: Fuente: Transmisiones Industriales.

Este mecanismo se emplea mucho en bicicletas, motos, motores de extrusión de plástico, puertas elevables, apertura automática de puertas, entre otras aplicaciones.

Este sistema consta de una cadena “sin fin” (cerrada) cuyos eslabones engranan con las ruedas dentadas (piñones) que están unidas a los ejes de los mecanismos conductor y conducido, al igual que en el sistema anterior.



Los ejes tienen que mantenerse en posición fija uno respecto a otro, por lo que suelen sujetarse mediante soportes, armaduras u horquillas (en el caso de motos y bicicletas). (mott, 2006)

2.1.6.4. Cadena

Las cadenas de transmisión son el mejor elemento cuando se quiere transmitir gran fuerza con ejes de transmisión que se mueven en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas. Se utiliza en variedad de máquinas como máquinas agrícolas e industriales, cintas transportadoras, prensas de impresión y máquinas de guía de tubos y cables, motocicletas, bicicletas y coches. (mott, 2006)

2.1.6.4.1. Tipos de cadena (cadenas_de_transmision)

- **Cadenas de bulones de acero.** De fundición maleable, en pasos de 32 a 150mm para esfuerzos de tracción desde 153 Kg (1500 N) a 1.224 Kg (12.000 N). Se encuentran en máquinas agrícolas e instalaciones de elevación y transporte.
- **Cadenas articuladas desmontables.** De fundición maleable, en pasos desde 22 a 148 mm, para esfuerzos de tracción desde 30,6 Kg. (300 N) a 327 Kg. (3.200 N). También utilizadas en máquinas agrícolas e instalaciones de elevación y transporte.
- **Cadenas “Galle”.** Sus eslabones están articulados sobre bulones. La pequeña superficie de la articulación permite solamente velocidades de la cadena hasta 0,5 m/seg y se utiliza en ascensores y en aparatos elevadores.
- **Cadena de rodillos.** Cuyas mallas están remachadas con bulones en uno de los extremos y en otro con casquillos articulados. Estos casquillos llevan, además unos rodillos templados. Puesto que estas cadenas resultan muy apropiadas para todas las condiciones de trabajo, son las más utilizadas. Por otra parte, son

bastante insensibles a las influencias exteriores. Se fabrican de una hasta 5 hileras normalmente

- **Cadenas de manguitos.** Que son en principio, cadenas sin rodillos. Por esta razón, son más ligeras y están sometidas a menores efectos de fuerzas centrífugas, pudiéndose trabajar a mayores velocidades. Se utilizaban hasta hace algunos años en automóviles, se dejaron de usar pues requieren ruedas mecanizadas con precisión y cuidado para mantener el desgaste dentro de límites aceptables, además son muy sensibles al polvo y suciedad.
- **Cadenas “Rotary”.** Tiene eslabones acodados y pueden emplearse con un número de elementos que se desee. El acodado de los eslabones las hace muy elásticas, de modo que absorben mejor los esfuerzos de choque.
- **Cadenas de dientes o silenciosas.** Es tipo de cadena de transmisión de potencia que ofrecen un funcionamiento más silencioso y uniforme, estos tipos no son recomendables para transmitir grandes pares de fuerza ni velocidades de giro elevadas, dado el riesgo que existe de desengranar la cadena de transmisión dentada. (mott, 2006)

Figura N°37: Cadena de dientes y piñones.



Fuente: Fuente: Transmisiones Industriales.

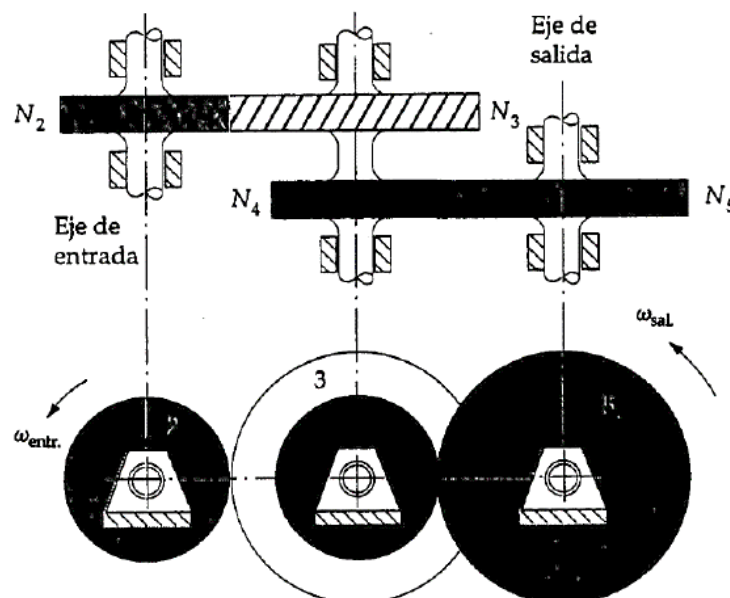
2.1.6.5. Transmisión sin fin corona

La transmisión sin fin – corona, es un mecanismo de transmisión circular compuesto por dos elementos: el tornillo (sin fin), que actúa como elemento de entrada (o conductor) y la rueda dentada, que actúa como elemento de salida (o conducido) y que algunos autores llaman corona. La rosca del tornillo engrana con los dientes de la rueda de modo que los ejes de transmisión de ambos son perpendiculares. (mott, 2006)

2.1.6.6. Transmisión por tren de engranajes

Un tren de engranajes es un mecanismo formado por varios pares de engrane acoplados de tal forma que el elemento conducido de uno de ellos es el conductor del siguiente. Suele definirse como aquella cadena cinemática formada por varias ruedas que ruedan sin deslizarse entre sí; o bien como cualquier sistema de ejes y ruedas dentadas que incluya más de dos ruedas. (mott, 2006)

Figura N°38: Sistema de Transmisión por Tren de Engranajes.



Fuente: Fuente: Transmisiones Industriales.



En muchos casos, se recurre a ellos porque no es posible establecer una determinada relación de transmisión entre dos ejes mediante un solo par de ruedas dentadas; o también porque se desea obtener un mecanismo con relación de transmisión variable, lo que tampoco es posible con un solo par de ruedas. (mott, 2006)

Las transmisiones por tren de engranajes se pueden realizar como cualquier otra clasificación, en la medida en que depende del criterio o criterios elegidos para realizarla. A partir de consideraciones de índole cinemática, una posible clasificación puede ser:

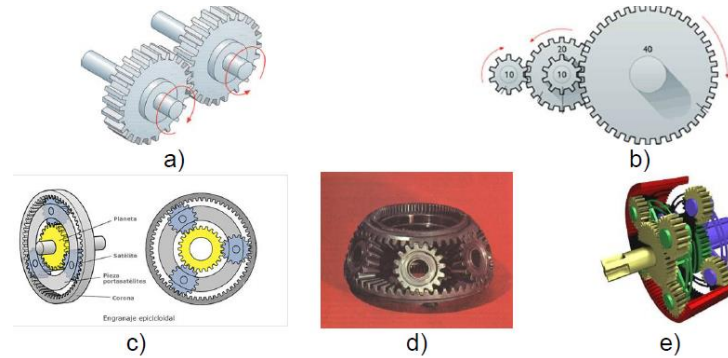
- Trenes ordinarios:
 - Trenes ordinarios simples
 - Trenes ordinarios compuestos. Estos, así mismo, podrán ser recurrentes o no recurrentes

- Trenes epicicloidales:
 - Trenes epicicloidales simples
 - Diferenciales
 - Trenes epicicloidales de balancín

- Trenes mixtos: en los que coexisten los dos tipos de trenes de engranajes anteriores.

La diferencia fundamental estriba en que en los trenes epicicloidales existe algún eje que tiene movimiento relativo respecto de los demás; mientras que en los trenes ordinarios el único movimiento que pueden tener los ejes es el de giro sobre sí mismos.

Figura N°39: Sistema de Transmisión por Tren de Engranajes. a) Tren Ordinario Simple, b) Tren Ordinario Compuesto, c) Tren Epicicloidal Simple, d) Tren Epicicloidal Diferencial, e) Trenes epicicloidales de balancín.



Fuente: Fuente: Transmisiones Industriales.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo con las principales ventajas y desventajas de los principales sistemas de transmisión de potencia.

Tabla N°7: Ventajas e Inconvenientes de los Sistemas de Transmisión de Potencia

| TIPO DE TRANSMISIÓN | VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|---------------------------------|--|---|
| Polea y Correa | <ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento suave. • No existen choques. • No generan ruido. • Funcionan como un fusible mecánico. • Diseño sencillo. • Costo bajo | <ul style="list-style-type: none"> • Grandes dimensiones exteriores. • Poca estabilidad por deslizamiento elástico. • Baja vida útil de la correa. • Bajas potencias. • Inseguro. |
| Transmisión Piñón Cadena | <ul style="list-style-type: none"> • No existe deslizamiento. • Las ruedas sobre las cadenas, no tienen que tener el diámetro tan grande como las poleas con bandas. • No necesitan de pre-tensión sobre la cadena. | <ul style="list-style-type: none"> • Son ruidosas y fuente de vibración. • El costo es relativamente alto • Montaje complicado. • El mantenimiento crítico y minucioso, se deben lubricar, de acuerdo a su fabricante |
| Sin Fin Corona | <ul style="list-style-type: none"> • Poco espacio para el montaje. • Bajo costo | <ul style="list-style-type: none"> • Son ruidosas y fuente de vibración. • Altos niveles de Lubricación • Montaje complicado. • El mantenimiento crítico y minucioso. • Baja confiabilidad. |
| Engranajes | <ul style="list-style-type: none"> • Gran variedad de velocidad • Ideal Para Transmisiones altas Potencias | <ul style="list-style-type: none"> • Costos elevados • Utiliza varios trenes de engranajes para bajas velocidades • Poco eficiente • Frecuentes cambios de Lubricante • Gran Tamaño |

(Continuación...)

| | | |
|--------------|--|---|
| Cyclo | <ul style="list-style-type: none">• Bajo costo de funcionamiento• Gran variedad de velocidades• Tamaños más compactos• Bajo ruido• Muy eficientes• Distintos tipos de Montaje• Mayor capacidad de Sobrecarga | <ul style="list-style-type: none">• No es viable en altas Velocidades• Mayor costo inicial |
|--------------|--|---|

Fuente: Fuente: Transmisiones Industriales.

2.1.6.7. Ejes de transmisión

Se define por eje de transmisión a un elemento cilíndrico de sección circular que transmite un movimiento de giro y que puede llevar montado distintos elementos de transmisión de potencia (engranajes, poleas, volantes, etc.). Estos elementos deben situarse, siempre que sea posible, cerca de los cojinetes de soporte.

Los ejes están sometidos a cargas de flexión, tracción, compresión o torsión que actúan de forma combinada o individualmente. (ODETTO, 2008)

2.1.7. Sistema control

En muchos procesos industriales la función de control por un operario (ser humano), este operador es el que decide cuanto y como manipular las variables de modo tal que se obtenga una cadena productiva y eficiente. La eficiencia productiva implica el constante aumento de los niveles de producción de la maquina instalada, el mejoramiento de la calidad del producto final, la disminución de los costos de producción y las seguridad tanto para el personal como para los equipos. Para lograr esto es necesario que los procesos productivos se realicen a mayor velocidad posible y que las variables a controlar estén dentro de los valores constantes. (Enríquez Callata & Quenta Salinas, 2007)



Debido a estas exigencias la industria ha necesitado de la utilización de nuevas y más complejos procesos, que muchas veces el operario no pueda controlar debido a la velocidad y exactitud requerida, además muchas veces las condiciones del espacio donde se lleva a cabo la tarea no son las más adecuadas para el desempeño del ser humano.

Frente a este panorama surge la automatización y los sistemas de control como una solución que va a permitir llevar a la producción a estándares de calidad mucho mejores. (Enríquez Callata & Quenta Salinas, 2007)

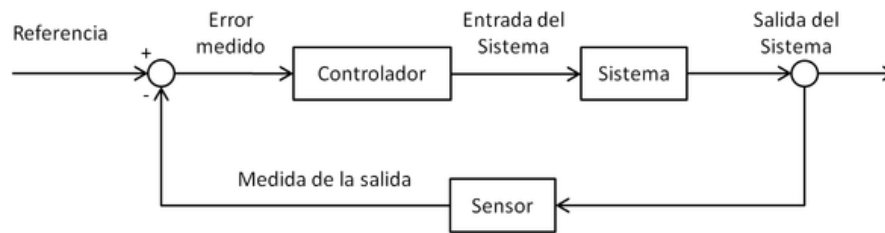
2.1.7.1. Elementos de un sistema de control automático

Un sistema de control automático es cuando un elemento llamado controlador reemplaza al operario humano. la función del controlador será a partir de datos, es decidir qué acción de control será necesaria y realizar la regulación para mantener el sistema en determinados valores.

La automatización implica la liberación del hombre en ciertas tareas elementales de control (de carácter operativo). La automatización comienza con una entrada, por ejemplo:

materia prima, y progresa hacia una salida por ejemplo el producto terminado sin intervención humana. simplifica el trabajo del hombre, incrementa la producción, economiza material y energía, controla y protege las instalaciones y maquinas, elimina las tareas complejas, peligrosas, pesadas o indeseadas haciéndola ejecutar por una máquina.

Figura N°40: Descripciones de los elementos de un sistema de control automático.



Fuente: <https://sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/control-manual>

- **Maquina:** son los equipos mecánicos que realizan los procesos traslados, transformaciones, etc., de los productos o materia prima.
- **Accionadores:** son equipos acoplados a las maquinas, y que permiten realizar movimientos, calentamiento, ensamblaje, embalaje. Puede ser
 - Accionadores eléctricos: usan la energía eléctrica, son por ejemplo, electroválvulas, motores, resistencias, cabezas de soldadura, etc.
 - Accionadores neumáticos: usan la energía del aire comprimido son por ejemplo, cilindros, válvulas, etc.
 - Accionadores hidráulicos: usan la energía de la presión del agua. Se usan para controlar velocidades lentas pero precisas.
- **PRE ACCIONADORES:** se usan para comandar y activar los accionadores, por ejemplo, contactares, switches, variadores de velocidad, distribuciones neumáticas etc.
- **CAPTADORES:** son los sensores y transmisores encargados de captar las señales necesarias para conocer el estado del proceso y luego enviarlas a la unidad de control.



- **INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA:** permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, pulsadores teclado, visualizadores, etc.
- **ELEMENTOS DE MANDO:** son los elementos de cálculo y control que gobiernan el proceso, se denominan autómatas, y conforman la unidad de control.

Los sistemas de control se forman de dos partes: parte de mando y parte operativa

- **PARTE MANDO:** es la estación central de control o autómata. Es el elemento principal del sistema, encargado de la supervisión, manejo corrección de errores, comunicación, etc.
- **PARTE OPERATIVA:** es la parte que actúa directamente sobre la maquina son los elementos que hacen que la máquina de mueva y realice las acciones. Son por ejemplo, los motores, cilindros, compresoras, bombas, reles, etc.

2.1.7.2. Tecnología NodeMCU WiFi

NodeMCU es una placa de desarrollo totalmente abierta, a nivel de software y de hardware. Al igual que ocurre con Arduino, en NodeMCU todo está dispuesto para facilitar la programación de un microcontrolador o MCU (del inglés “Microcontroller Unit”).

Se compone de un SOC (Sistema en Chip) ESP8266. Básicamente consiste en un chip que tiene todo integrado para funcionar de forma autónoma.

NodeMCU es un módulo formado por un ESP8266-12 con la electrónica necesaria para facilitar su uso, como la alimentación con micro-USB que se conecta al ordenador y con la que podemos transmitir más fácilmente los programas.

Esta placa de desarrollo se integra con el IDE de Arduino permitiéndonos programarlo de la misma manera y con la misma filosofía que este.

La razón de usar NodeMCU en vez de un ESP8266 simple ha sido la facilidad de conexión con el ordenador y la alimentación, siendo con el ESP8266 necesaria para su programación usar comandos AT o usar un conector FTDI para poder conectarlo y subir programas mediante el IDE de Arduino.

Otras opciones para el desarrollo del proyecto eran usar una placa Arduino Mega y usar el ESP8266 como esclavo, algo que al final fue descartado porque el chip wifi es capaz de hacer él las tareas de Arduino y acababa siendo innecesario.

En el mercado podemos encontrar otras opciones como son la Raspberry Zero, Arduino MKR1000. La primera muy potente, con Raspbian de SO, aunque un consumo más elevado y de precio más caro, y el Arduino más parecido al NodeMCU, con wifi, mismo IDE, aunque con un precio más caro, procesador más lento y menos memoria ROM. (del Valle, 2019)

Figura N°41: NodeMCU.



Fuente: Rodrigo, 2018. Sistema electrónico de control basado en Arduino.



2.1.7.2.1. Lenguaje de programación C++

El lenguaje de programación de Arduino está basado en C++ y aunque la referencia para el lenguaje de programación de Arduino está en páginas web, también es posible usar comandos estándar de C++ en la programación de Arduino. (Crespo, 2018)

Características de C:

- Es el lenguaje de programación de propósito general asociado al sistema operativo UNIX.
- Es un lenguaje de medio nivel. Trata con objetos básicos como caracteres, números, etc... también con bits y direcciones de memoria.
- Posee una gran portabilidad
- Se utiliza para la programación de sistemas: construcción de intérpretes, compiladores, editores de texto, etc

C++ es un lenguaje de programación diseñado a mediados de los años 1980 por Bjarne Stroustrup. La intención de su creación fue el extender al exitoso lenguaje de programación C con mecanismos que permitan la manipulación de objetos. En ese sentido, desde el punto de vista de los lenguajes orientados a objetos, el C++ es un lenguaje híbrido.

Posteriormente se añadieron facilidades de programación genérica, que se sumó a los otros dos paradigmas que ya estaban admitidos (programación estructurada y la programación orientada a objetos). Por esto se suele decir que el C++ es un lenguaje de programación multiparadigma. Actualmente existe un estándar, denominado ISO C++,



C# es un lenguaje propietario de Microsoft que mezcla las características básicas de C++ (no las avanzadas) simplificándolas al estilo Java y ofreciendo un framework. C# forma parte de la plataforma . (Crespo, 2018)

Elementos básicos en la programación en C++

- {} entre llaves

Las llaves sirven para definir el principio y el final de un bloque de instrucciones. Se utilizan para los bloques de programación `setup()`, `loop()`, `if..`, etc.

Una llave de apertura {“siempre debe ir seguida de una llave de cierre “}, si no es así el compilador dará errores. El entorno de programación de Arduino incluye una herramienta de gran utilidad para comprobar el total de llaves. Sólo tienes que hacer click en el punto de inserción de una llave abierta e inmediatamente se marca el correspondiente cierre de ese bloque (llave cerrada). (Crespo, 2018)

- ; punto y coma

El punto y coma “;” se utiliza para separar instrucciones en el lenguaje de programación de Arduino. También se utiliza para separar elementos en una instrucción de tipo “bucle for”.

Nota: Si se olvida poner fin a una línea con un punto y coma se producirá un error de compilación. (Crespo, 2018)

- /*... */ bloque de comentarios

Los bloques de comentarios, o comentarios multi-línea son áreas de texto ignorados por el programa que se utilizan para las descripciones del código o comentarios



que ayudan a comprender el programa. Comienzan con `/*` y terminan con `*/` y pueden abarcar varias líneas.

Debido a que los comentarios son ignorados por el compilador y no ocupan espacio en la memoria de Arduino pueden ser utilizados con generosidad. (Crespo, 2018)

- **// línea de comentarios**

Una línea de comentario empieza con `//` y terminan con la siguiente línea de código. Al igual que los comentarios de bloque, los de línea son ignoradas por el programa y no ocupan espacio en la memoria.

Una línea de comentario se utiliza a menudo después de una instrucción, para proporcionar más información acerca de lo que hace esta o para recordarla más adelante.

A la hora de programar Arduino, es fundamental usar la referencia que disponemos online en <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage> o en la ayuda del IDE de Arduino. Cualquier duda sobre un comando, función, etc... debemos consultar en la referencia de Arduino.

Un manual sencillo de entender para programación y en el que está basado este capítulo es el “arduino programming notebook” de brian w. Evans. Puedes consultarlo o descargarlo desde: http://www.ardumania.es/wp-content/uploads/2011/10/Arduino_programing_notebook_ES.pdf

Existe una guía de estilo para escribir código claro de Arduino y que sea fácil de entender. No es obligatorio, pero es una recomendación: (Crespo, 2018)

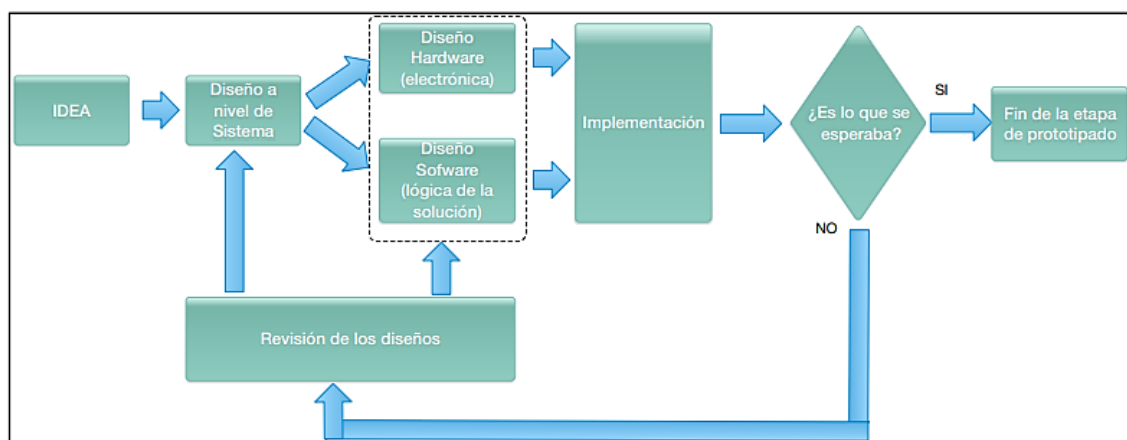
- Documentar al máximo
- Usar esquemas

- Predominar la facilidad de lectura sobre la eficiencia del código
- Poner el setup() y loop() al principio del programa
- Usar variables descriptivas
- Explicar el código al principio
- Usar indentación

Modalidad de trabajo

Arduino se creó para facilitar el prototipaje de ideas que mezclan software con componentes electrónicos, con el fin de crear soluciones que interactúen con el medio ambiente y con otros sistemas. se muestra un esquema que representa el trabajo que usted debe realizar para implementar sus ideas. (Crespo, 2018)

Figura N°42: Esquema de modalidad de trabajo.



Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>

2.1.8. Hipótesis del trabajo

HIPOTESIS GENERAL

El diseño del prototipo automático móvil nos permitirá obtener un sistema de riego tecnificado con características climatológicas adecuadas a la región Puno, utilizando



energía fotovoltaica, que nos permitirá aprovechar el recurso hídrico de manera más eficiente.

HPOTESIS ESPECIFICAS

- Que el recurso solar en la región de Puno es adecuado para el suministro de la energía eléctrica que permita el funcionamiento del prototipo móvil.
- La utilización de software especializados de diseño mecánico y eléctrico permitirá obtener el diseño apropiado del prototipo móvil y su sistema de control.
- El monitoreo y control de la humedad del área de cultivo se realizará mediante las señales inalámbricas wifi.
- El riego se realizará de manera uniforme con la utilización de dos micro aspersores en movimiento lineal.



CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La metodología que se planteó para el desarrollo del presente proyecto de tesis es una investigación del tipo experimental aplicada, debido a que los datos e información son obtenidos de manera teórica, práctica, para ello se recurrió a bibliografías establecidas en libros, tesis de investigación, artículos, manuales, catálogos, publicaciones electrónicas, revistas, etc. Así mismo, se utilizaron los siguientes softwares: SolidWorks, crowpat 8.0, climwat 2.0, Excel, Para dimensionar y seleccionar los equipos y materiales para los diferentes sistemas.

Sistemas que se desarrollaron son los siguientes:

- **Sistema mecánico:** En este sistema se desarrolló el diseño y construcción de la carreta impulsora y la carreta de descarga.
- **Sistema Hidráulico (agua):** En este sistema se desarrolló la selección e instalación de los equipos y materiales de riego.
- **Sistema de Transmisión Mecánica:** En este sistema se desarrolló la selección e instalación del motorreductor, la cadena, catalina y el piñón.
- **Sistema Fotovoltaico:** En este sistema se desarrolló la selección e instalación de los equipos eléctricos en sistema corriente directa (DC).
- **Sistema de control:** En este sistema se desarrolló la selección e instalación de equipos de control.



Además, se realizó pruebas de manera experimental en un área de cultivo de 20 m², por un periodo de tiempo que ayudaron en la elaboración del proyecto de tesis de investigación, y fue elaborado por dos estudiantes de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

3.1.1.1. Investigación bibliográfica

Para esta investigación se tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del trabajo de investigación para ello, se utilizó fuentes como: libros, tesis, catálogos, textos, páginas electrónicas, entre otros, con la finalidad de conseguir una correcta orientación de la investigación, constituyendo un respaldo para los procedimientos a llevar a cabo, con el cual las teorías a investigar se comprobarán y justificarán en el presente proyecto de tesis.

A. FUENTES Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE DATOS

Se tomó en cuenta los datos actualizados del servicio nacional meteorología e hidrología del Perú **SENAMHI – PUNO, POWER Data Access Viewer (NASA) y Clinwat 2.0**, para el respectivo dimensionamiento del panel fotovoltaico que cumpla con la demanda máxima requerida, así mismo se tendrá que tener en cuenta los parámetros físicos del suelo para realizar el trabajo de riego de manera eficiente.

3.1.1.2. Investigación de campo

En el presente proyecto de investigación se realizó pruebas de nivel experimental, además de ello se obtuvo datos reales que ayudaron a cumplir con los objetivos planteados, se desarrolló en un área preestablecida.

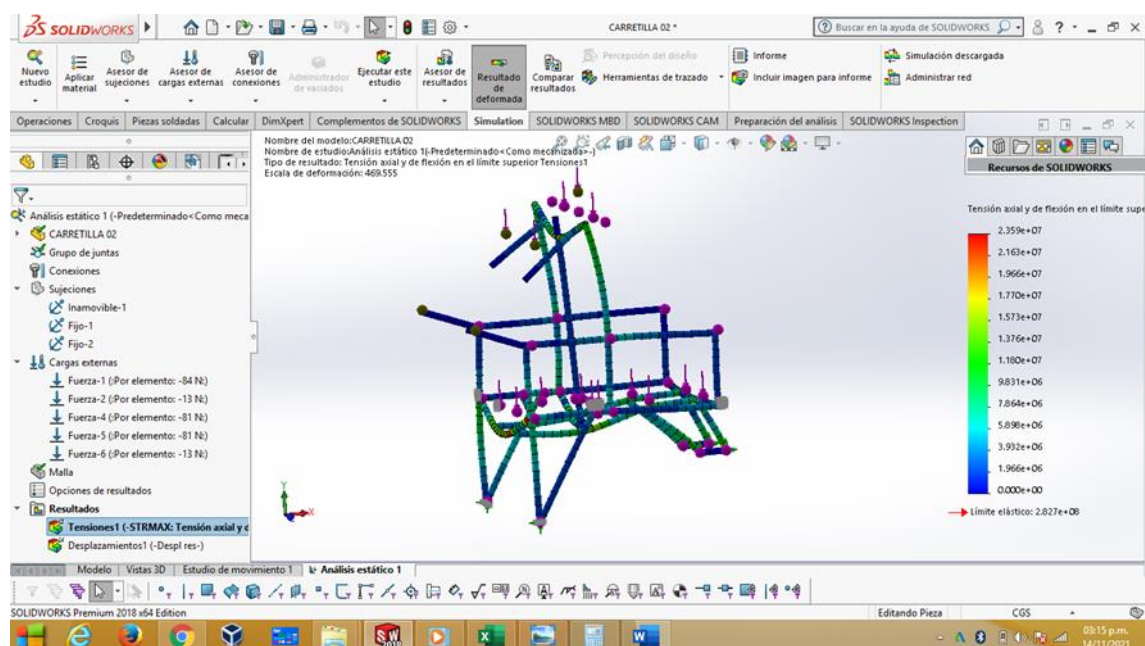
3.2. METODOS Y DESCRIPCION DE MATERIALES POR SISTEMAS

3.2.1. Sistema mecánico

Con la ayuda del software SOLIDWORK se diseñó, de manera digital las estructuras de soporte de los componentes electromecánicos, eléctricos y equipos de control, este software nos permitió calcular la resistencia mecánica requerida de los materiales para el sistema que planteo realizar.

Este software nos permitió visualizar y simular en 3D, como se muestra en la figura N°42, de manera que se pudo mejorar y optimizar algunas anomalías que se presentaron en el transcurso del diseño.

Figura N°43: Ventana de diseño de 3D en SOLIDWORK.



Elaborado por el equipo de trabajo

De la misma forma se llevó cabo la construcción física con la ayuda de equipos y herramientas.

A. Estructura de carrete impulsora

El diseño de la estructura de carrete del prototipo, se hizo de la siguiente manera:

Figura N°44: Construcción de carrete.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°45: Materiales para el montaje del carrete.

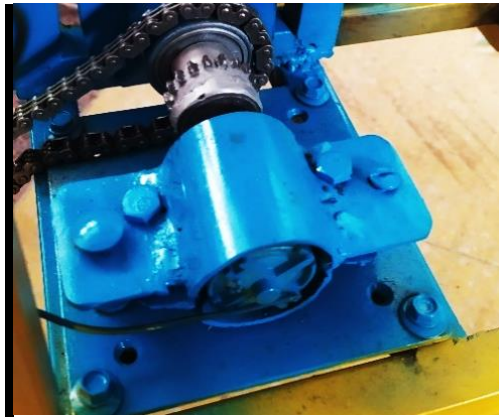
| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|----------------------------|
| Tubo cuadrado | : 20mm E=2.50mm ASTM A36 |
| Angulo estructural | : 20x20x2.5 mm ASTM A36 |
| Tubo Galvanizado | : D=1 ½” E=2.0mm ASTM A500 |
| Llanta para carrete | : D=8” |

Elaborado por el equipo de trabajo

B. SOPORTE DE MOTORREDUCTOR

El diseño del soporte se realizó para sujeción del motor reductor como se muestra en la imagen.

Figura N°46: Proceso de construcción



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°8: Materiales para el montaje del soporte

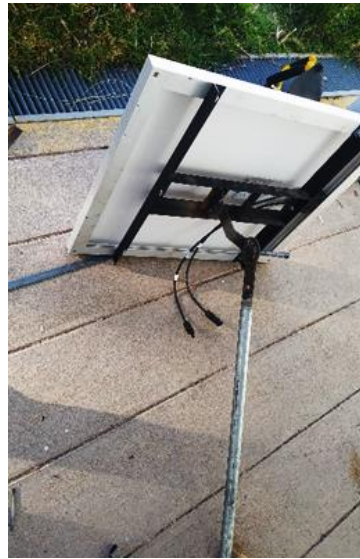
| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Plancha | : E=2.5mm ASTM A36 |
| Tuerca de acero | : Hexagonal 8C25 |
| Perno de acero | : Cabeza hexagonal P02520 y P02510 |

Elaborado por el equipo de trabajo

C. ESTRUCTURA DE PANEL

Es el soporte del panel solar fue diseñado y construido de la siguiente manera.

Figura N°47: Proceso de construcción modulo fotovoltaico.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°9: Materiales para la estructura del módulo fotovoltaico.

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|----------------------------|
| Tubo Galvanizado | : D=1 ¼" E=2.0mm ASTM A500 |
| Angulo estructural | : 20x20x2.5 mm ASTM A36 |
| Tuerca de acero | : Hexagonal 8C25 |
| Perno de acero | : Cabeza hexagonal P02510 |

Elaborado por el equipo de trabajo

D. ESTRUCTURA DE CARRETA DE DESCARGA

la estructura se construyó como se muestra en la imagen.

Figura N°48: Proceso de construcción de la carreta de descarga.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°10: Materiales para el montaje del carrete de descarga.

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|---------------------------|
| Tubo Aluminio | : D=1.5cm E=1mm |
| Plancha fierro galvanizado | : E=1mm |
| Llanta giratoria | : D=5cm |
| Rueda de plástico de goma | : D=10cm |
| Riel strut | : D=10cm |
| Resorte bonell | : D=3cm, h=5cm |
| Tuerca de acero | : Hexagonal 8C25 |
| Perno de acero | : Cabeza hexagonal P02510 |

Elaborado por el equipo de trabajo

3.3. SISTEMA HIDRÁULICO (AGUA)

A. ELECTROBOMBA

Las bombas de diafragma están diseñadas para una amplia gama de aplicaciones que incluyen transferencia, pulverización, circulación, filtración y dispensación de líquidos. Son autocebantes y pueden funcionar en seco sin sufrir daños. Proporciona hasta 1,2 galones por minuto. Esta bomba de sistema de agua de demanda automática compacta tiene un interruptor de presión incorporado, que automáticamente arranca y detiene la bomba cuando se abre y se cierra el grifo.

Figura N°49: Electrobombas 12V, 70PSI.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°11: Características de la bomba.

| BOMBA | |
|--------------------------------|--|
| Escribe | Bomba de diafragma de desplazamiento positivo de 2 cámaras , autocebante, capaz de funcionar en seco |
| Tipo de control | Interruptor de presión |
| Temperatura máxima recomendada | 60 ° C (140 ° F) |
| Capacidades de cebado | Altura de succión de 4 pies (1,2 m) |
| Presión de reinicio | Presión de cierre 35 PSI: 25 PSI ± 5 PSI (± 0,3 bar) Presión de cierre 40 PSI: 30 PSI ± 5 PSI (± 0,3 bar) Presión de cierre 70 PSI: 56 PSI ± 5 PSI (± 0,3 bar) |
| Puertos de entrada / salida | Conector de manguera de 10 mm (3/8 ") |
| Peso | 1,3 libras (0,6 kg) |

Fuente: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/601.html>

Tabla N°12: Características del motor.

| MOTOR | |
|--------------------------|---|
| Dirige | 18 AWG, 14 "(35 cm) de largo con conector / cables de 2 pines |
| Ciclo de trabajo | Intermitente |
| Consumo máx. De amperios | 4.0 A |
| Fusible | 6,0 A |

Fuente: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/601.html>

Tabla N°13: Selección de la electrobomba.

CONFIGURACIONES ESTÁNDAR DE BOMBAS

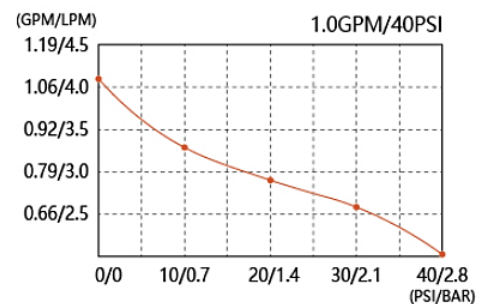
| Modelo | Voltaje | Flujo abierto (GPM / LPM) | Tipo de control | Dibujo máximo | Presión de cierre (PSI / BAR) | Valvulas | Diafragma | Puertos | Conexiones de cables |
|------------------|---------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|----------|------------|--------------|----------------------|
| SFDP1-010-040-21 | 12V | 1.0 / 3.8 | Cambiar | 4.0A | 40 / 2,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP2-010-040-21 | 24 V | 1.0 / 3.8 | Cambiar | 2.0A | 40 / 2,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP1-011-070-21 | 12V | 1.1 / 4.0 | Cambiar | 4.0A | 70 / 4,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP2-011-070-21 | 24 V | 1.1 / 4.0 | Cambiar | 2.0A | 70 / 4,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP1-012-035-21 | 12V | 1.2 / 4.3 | Cambiar | 4.0A | 35 / 2,4 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP2-012-035-21 | 24 V | 1.2 / 4.3 | Cambiar | 2.0A | 35 / 2,4 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |

Fuente: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/601.html>

Tabla N°14: Rendimiento de la bomba.

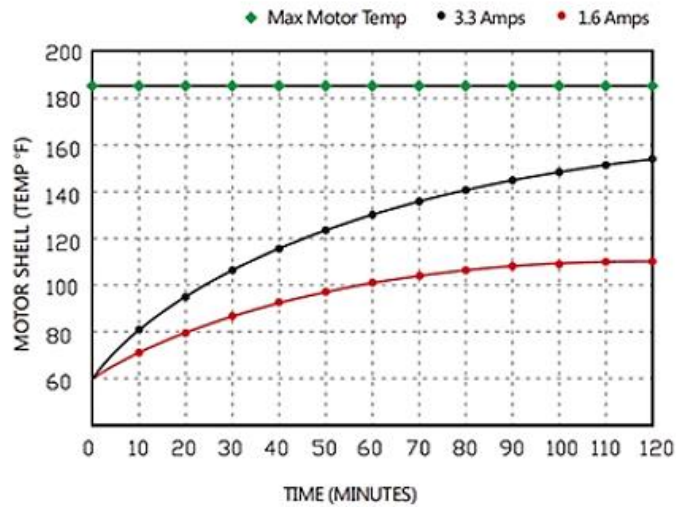
1.0 GPM

| PRESIÓN | | FLUIR | | ACTUAL |
|---------|------|-------|------|----------|
| PSI | BAR | GPM | LPM | Amperios |
| 0 | 0 | 1.09 | 4.14 | 1,56 |
| 10 | 0,69 | 0,84 | 3,28 | 1,89 |
| 20 | 1,38 | 0,75 | 2,84 | 2,25 |
| 30 | 2,07 | 0,69 | 2,60 | 2,6 |
| 40 | 2,72 | 0 | 0 | 2,96 |



Fuente: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/601.html>

Figura N°50: Subida de calor.



Fuente: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/601.html>

Figura N°51: Detalles de la electrobomba.



Fuente: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/601.html>

B. ACCESORIOS HIDRAULICOS (AGUA)

Son conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta

de proceso. Los accesorios se especifican por el diámetro nominal de la tubería, el nombre del accesorio y el material.

Figura N°52: Accesorios hidráulicos (agua).



Elaborado por el equipo de trabajo

B.1. TUBERIA GALVANIZADA

El acero galvanizado es un elemento de acero recubierto por varias capas de zinc mediante un proceso que ayuda a proteger la pieza de la oxidación en las tuberías de agua.

B.1.1. NIPLES, TEE Y CODOS 90°

Figura N°53: Niples, codo y tee.



Fuente: http://www.catalogo.sitasa.com/familias/tuberia_galvanizados/01_1.pdf

Tabla N°15: Características de accesorios de agua.

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|----------------------|
| Diámetro | : 3/8" |
| Material | : Fierro galvanizado |

Elaborado por el equipo de trabajo

B.2. REDUCTOR CAMPANA

Figura N°54: Reductor campana.



Fuente: http://www.catalogo.sitasa.com/familias/tuberia_galvanizados/01_1.pdf

Tabla N°16: Características de reductora campana.

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|----------------------|
| Reductor | : de 1/2" a 3/8" |
| Material | : Fierro galvanizado |

Elaborado por el equipo de trabajo

B.3. MANOMETRO

Un manómetro de presión es un indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua, aceite o aire. A diferencia de los transductores de presión tradicionales, estos son dispositivos analógicos con un dial circular y un puntero accionado mecánicamente que han estado en uso durante décadas.

Figura N°55: Manómetro.



Fuente: <https://tecfresh.com/marca/ritherm/>

B.4. ACOUPLE RAPIDO

Los acoples rápidos tienen una función de conexión y desconexión rápida que permite manejar una amplia variedad de fluidos y gases.

Figura N°56: Acople rápido.



Fuente: <https://www.promart.pe/juego-de-acoples-rapidos-para-compresora-x-4-piezas/p>

B.5. MANGUERA

Las mangueras de riego son tuberías flexibles de polietileno de alta resistencia, diseñadas para soportar grandes presiones de riego, lo que les permite adaptarse a los diversos sistemas de riego que requiera su cultivo. Gracias a su fabricación con aditivos de protección al sol (UV) y antioxidantes, las mangueras de riego gozan de una mayor durabilidad, lo que aumentará su tiempo de uso. Mientras más resistencia posea la manguera, mejor será la distribución de agua por todo el cultivo.

Figura N°57: Manguera.

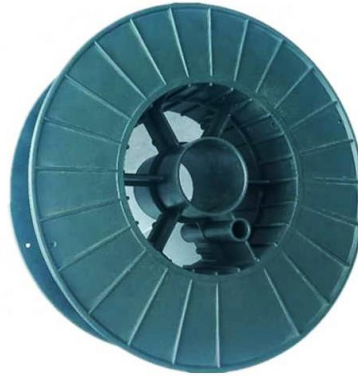


Fuente: <https://www.promart.pe/carrete-manguera-con-boquilla-x10m/p>

B.6. CARRETA PARA MANGUERA

El siguiente carrete se utilizó para el enrollado de la manguera.

Figura N°58: Carrete de manguera.



Fuente: <https://docplayer.es/196153577-Catalogo-equipo-para-cercas-electricas.html>

B.7. MICRO ASPERSORES

Los Microaspersores están destinados a suministrar el riego mediante gotas muy finas, poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, que ayuda a ofrecer un mayor diámetro de cobertura, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota, y una mejor distribución del agua (sobre todo en uniformidad de distribución).

Todos los componentes son intercambiables, permitiendo utilizar el diseño más apropiado para cada necesidad.

Figura N°59: Micro aspersor 01.



Fuente: <https://www.riego.pe/microaspersores/>

Tabla N°17: Características del microaspersor 01.

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|--------------------|
| Diámetro de riego | : 1.5 mm |
| Presión de trabajo | : 2 bar |
| Descarga (l/h) | : 120 |
| Material | : plástico |

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°60: Micro aspersor 02.



Fuente: <https://www.riego.pe/microaspersores/>

Tabla N°18: Características del micro aspersor 02.

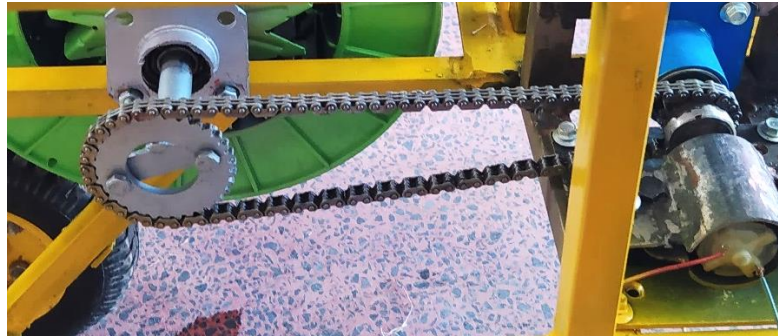
| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|--------------------|
| Diámetro de riego | : 1.14 mm |
| Presión de trabajo | : 1.5 – 2 bar |
| Descarga (l/h) | : 70 |
| Material | : plástico |

Elaborado por el equipo de trabajo

3.4. SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA

El sistema de transmisión es un conjunto de piezas que transmiten la potencia generada por el motorreductor sobre el carrete mediante una cadena y piñones, para que la manguera se pueda enrollar y desenrollar.

Figura N°61: Sistemas de transmisión.



Elaborado por el equipo de trabajo

A. MOTORREDUCTOR

Figura N°62: Motorreductor.



Fuente: https://electropro.pe/index.php?route=product/product&product_id=740

Tabla N°19: Características del motorreductor.

| Características | Motorreductor |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Voltaje | : 12VDC |
| Velocidad | : 16 RPM (revoluciones por minuto) |
| Diametro del eje | : 6 mm |
| Fuerza nominal | : 10 kgf.cm/ N.m |
| Fuerza máxima eficiencia | : 30 kgf.cm/2.94 N.m |
| Tamaño de la caja reductora | : 37mmx26mm |
| Tamaño del motor | : 32mmx16mm |

Elaborado por el equipo de trabajo

B. CADENA SILENCIOSA

Figura N°63: Cadena silenciosa.



Fuente: https://ramseychain.com/download/literature/corporate_brochure/2018-Corporate-Brochure_Spanish_web.pdf

Tabla N°20: Características de la cadena silenciosa

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|--------------------|
| Ancho | : 1 cm |
| Longitud | : 0.75 m |
| Material | : Acero |

Elaborado por el equipo de trabajo

C. PIÑÓN CONDUCTOR

Figura N°64: Piñón conductor.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°21: Características de piñón conductor.

| Materiales y elementos | Descripción |
|------------------------|-------------|
| Numero de dientes | : 17 |
| Diámetro exterior | : 5 cm |
| Material | : Acero |

Elaborado por el equipo de trabajo

D. PIÑÓN CONDUcido

Figura N°65: Piñón conducido.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°22: Características de piñón conducido.

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|--------------------|
| Numero de dientes | : 20 |
| Diámetro exterior | : 7 cm |
| Material | : Acero |

Elaborado por el equipo de trabajo

E. RODAMIENTO

Este rodamiento se utilizó para los ejes de giro de transmisión mecánica.

Figura N°66: Rodamiento.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°23: Características de rodamiento.

| Materiales y elementos | Descripción |
|-------------------------------|--------------------|
| Diámetro interior | : 1.50 cm |
| Diámetro exterior | : 4 cm |
| Ancho | : Acero |

Elaborado por el equipo de trabajo

3.5. SISTEMA FOTOVOLTAICO

A. PANEL SOLAR

Es el módulo que se seleccionó para el funcionamiento del prototipo.

Figura N°67: Panel Solar.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°24: Características del panel solar.

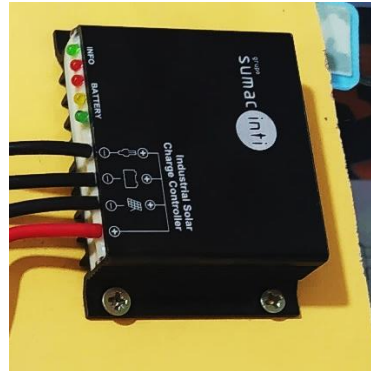
| Características | |
|--------------------------------|-----------------|
| Modelo | : ZT50S |
| Potencia Máxima | : 50 W |
| Circuito Abierto Voltage (Voc) | : 22.46 V |
| Corto circuito corriente (Isc) | : 2.79 A |
| Tolerancia de Potencia | : +-5% |
| Voltage en Pmax (Vmp) | :18.72 V |
| Corriente en Pmax (Imp) | :2.67 A |
| Peso | : 4.0 kg |
| Dimension del Modulo | : 679x545 mm |
| Coeficiente de Temp. Voc | : -(70+-5)mV/°C |
| Coeficiente de Temp. Isc | : +0.03%/°C |
| Coeficiente de Temp. Potencia | : -0.44%/°C |

Elaborado por el equipo de trabajo

B. REGULADOR DE CARGA

Es el regulador de carga que se utilizará para realizar la carga a la batería.

Figura N°68: Regulador de carga.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°25: Características de regulador de carga.

| Solsum E | 3.3E | 7.7E | 10.10E | 15.15E |
|--|--|------|--------|--------|
| Characterisation of the operating performance | | | | |
| System voltage | 12 V (24 V) | | | |
| Own consumption | < 4 mA | | | |
| DC input side | | | | |
| Open circuit voltage solar module (at minimum operating temperature) | < 47 V | | | |
| Module current | 3 A | 7 A | 10 A | 15 A |
| DC output side | | | | |
| Load current | 3 A | 7 A | 10 A | 15 A |
| End of charge voltage | 13.9 V (27.8 V) | | | |
| Boost charge voltage | 14.4 V (28.8 V) | | | |
| Reconnection voltage (SOC / LVR) ** | > 50 % / 12.4 V ... 12.7 V (24.8 V ... 25.4 V) | | | |
| Deep discharge protection (SOC / LVD) ** | < 30 % / 11.2 V ... 11.6 V (22.4 V ... 23.2 V) | | | |
| Operating conditions | | | | |
| Ambient temperature | -25 °C ... +50 °C | | | |
| Fitting and construction | | | | |
| Terminal (fine / single wire) | 4 mm ² / 6 mm ² - AWG 12 / 9 | | | |
| Degree of protection | IP 68 | | | |
| Dimensions (X x Y x Z) | 82x 59 x 20 mm | | | |
| Weight | approx. 150 g | | | |

Elaborado por el equipo de trabajo

C. BATERIA

Una batería eléctrica, también llamada pila o acumulador eléctrico, es un artefacto compuesto por celdas electroquímicas capaces de convertir la energía química en su interior en energía eléctrica.

Figura N°69: Batería para panel solar.



Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N°26: Características de la batería.

| Características | |
|-------------------|--------------|
| Modelo | : SU12-33 |
| Voltaje | : 12V |
| Uso ocasional | : 13.5-13.8V |
| Uso continuo | : 14.4-14.9V |
| Corriente Inicial | : 9.9 A Max |
| Capacidad | : 12V 33Ah |

Elaborado por el equipo de trabajo



3.6. SISTEMA DE CONTROL

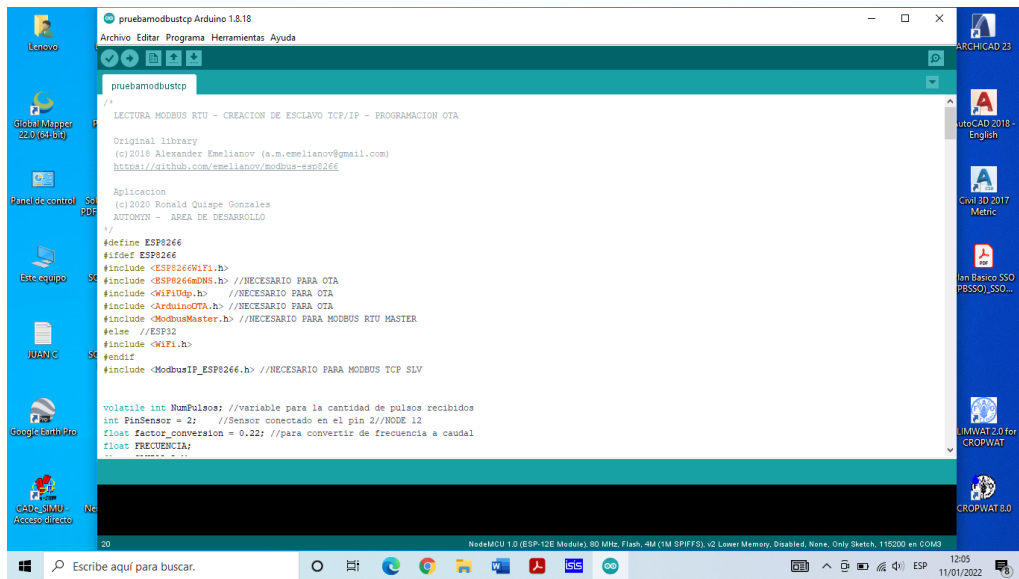
Con la ayuda de los siguientes softwares se programó el control y la automatización del módulo de riego.

3.6.1. Software Arduino 1.8.18

El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino es una aplicación multiplataforma (para Windows, macOS, Linux) que está escrita en el lenguaje de programación Java. Se utiliza para escribir y cargar programas en placas compatibles con Arduino, pero también, con la ayuda de núcleos de terceros, se puede usar con placas de desarrollo de otros proveedores.¹

El código fuente para el IDE se publica bajo la Licencia Pública General de GNU, versión 2.2 El IDE de Arduino admite los lenguajes C y C ++ utilizando reglas especiales de estructuración de códigos.³ El IDE de Arduino suministra una biblioteca de software del proyecto Wiring, que proporciona muchos procedimientos comunes de E/S. El código escrito por el usuario solo requiere dos funciones básicas, para iniciar el boceto y el ciclo principal del programa, que se compilan y vinculan con un apéndice de programa main() en un ciclo con el GNU toolchain, que también se incluye.⁴ El IDE de Arduino emplea el programa avrdude para convertir el código ejecutable en un archivo de texto en codificación hexadecimal que se carga en la placa Arduino mediante un programa de carga en el firmware de la placa.

Figura N°70: Vista de programa del Software Arduino.

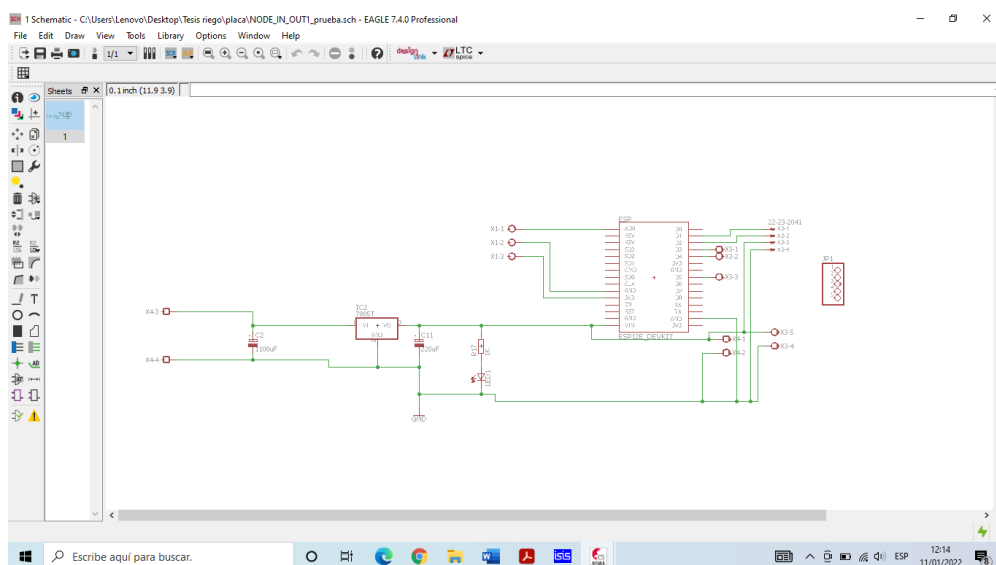


Fuente: ARDUINO 1.8.18

3.6.2. Software EAGLE

EAGLE es una aplicación de automatización de diseño electrónico (EDA) con funciones de captura esquemática, diseño de placa de circuito impreso (PCB), enrutador automático y fabricación asistida por computadora (CAM).

Figura N°71: Vista de Programa Eagle 7.6.0.

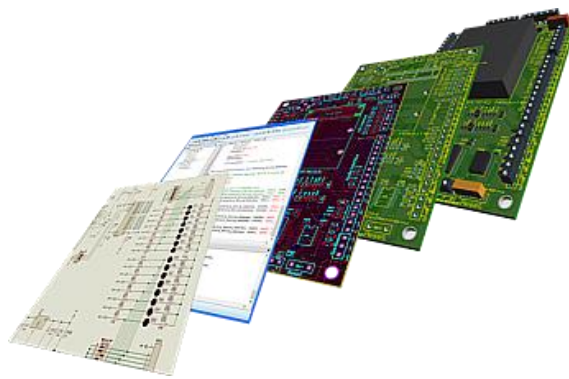


Fuente: Eagle 7.6

3.6.3. Software PROTEUS

Proteus es una aplicación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de la placa de circuito impreso, simulación de todo el conjunto, depuración de errores, documentación y construcción. (Hubor-Proteus, n.d.)

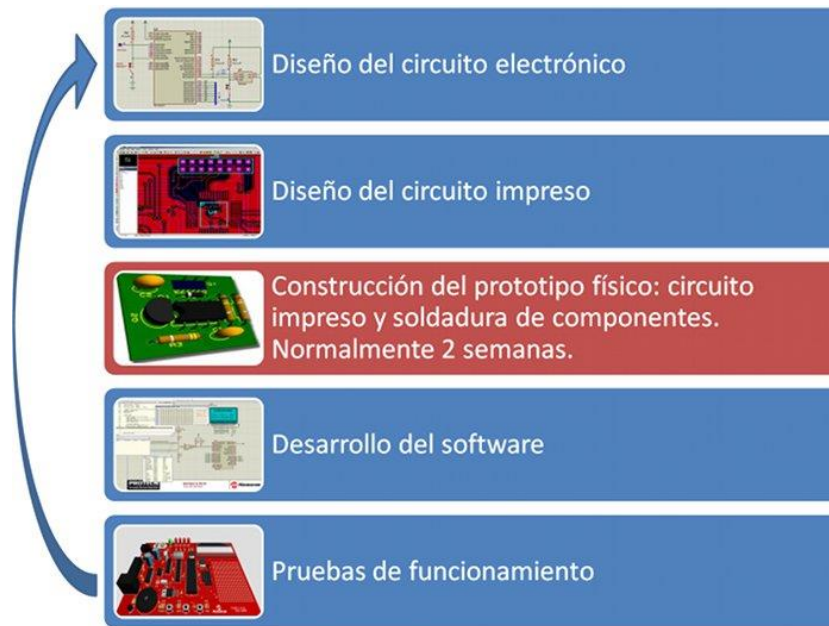
Figura N°72: Circuitos impresos en placas.



Fuente: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>

Sin la utilización de la suite Proteus, el proceso para construir un equipo electrónico basado en un microprocesador se compone de cinco etapas. Sólo al final del proceso somos capaces de detectar los errores y cualquier problema exige volver a ejecutar el ciclo completo:

Figura N°73: Ciclo de construcción de circuito electrónicos.



Fuente: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>

El depurado de errores puede convertirse en una labor ardua en tiempo y recursos, lo que conlleva un alto coste económico. Sin embargo con la herramienta Proteus el proceso queda definido de la siguiente manera:

Figura N°74: Ciclo de proceso de construcción de circuito electrónico definido.



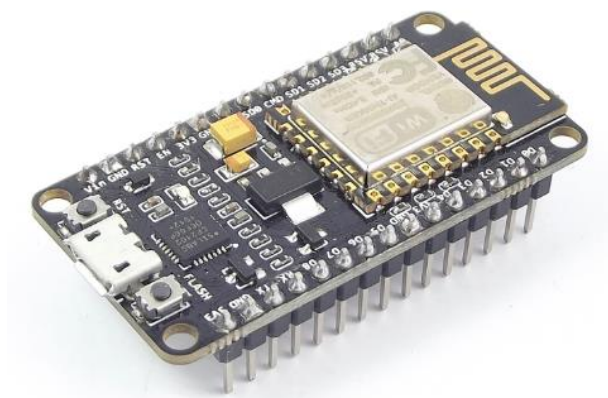
Fuente: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>

Las ventajas saltan a la vista. Con Proteus las fases de prueba no suponen la necesidad de volver a construir nuevos prototipos, con el ahorro de costos y tiempo que ello supone. (Hubor-Proteus, n.d.)

A. NodeMCU v2 ESP8266 WiFi

NodeMCU ESP8266 es una plataforma de desarrollo similar a **Arduino** especialmente orientada al Internet de las cosas (IoT). La placa NodeMcu v2 ESP8266 tiene como núcleo al **SoM ESP-12E** que a su vez está basado en el **SoC Wi-Fi ESP8266**, integra además el convertor USB-Serial TTL CP2102 y conector micro-USB necesario para la programación y comunicación a PC. NodeMcu v2 ESP8266 está diseñado especialmente para trabajar montado en protoboard o soldado sobre una placa. Posee un regulador de voltaje de 3.3V en placa, esto permite alimentar la placa directamente del puerto micro-USB o por los pines 5V y GND. Los pines de entradas/salidas (GPIO) trabajan a 3.3V por lo que para conexión a sistemas de 5V es necesario utilizar convertidores de nivel como: Convertor de nivel 3.3-5V 4CH o Convertor de nivel bidireccional 8CH - TXS0108E.

Figura N°75: NodeMCU ESP8266.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>

Tabla N°27: NodeMCU v2 ESP8266 WiFi

| Características | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Placa | : NodeMCU v2 (Amica) |
| Voltaje de alimentación | : 5V |
| Voltaje de Entradas/Salidas | : 3.3V DC (No usar 5V) |
| Chip conversor USB-serial | : CP2102 |
| CPU | : Tensilica Xtensa LX3 (32 bit) |
| Frecuencia de Reloj | : 80MHz/160MHz |
| Instruction RAM | : 32KB |
| Data RAM | : 96KB |
| Memoria Flash Externa | : 4MB |
| Pines Digitales GPIO | : 17 (4 pueden configurarse como |
| PWM a 3.3V) | |
| Pin Analógico ADC | : 1 (0-1V) |
| Puerto Serial UART | : 2 |
| Antena | : en PCB |
| Wi-Fi | : Direct (P2P), soft-AP |
| Stack de Protocolo | : TCP/IP integrado |
| Potencia de salida | : 19.5dBm en modo 802.11b |
| Corriente de fuga | : menor a 10uA |
| Agregación | : A-MPDU y A-MSDU |
| intervalo de guarda | : 0.4ms |
| Despertar y transmitir paquetes en | : <2ms |
| Consumo de potencia Standby | : <1.0mW (DTIM3) |
| Pulsador | : RESET y FLASH |
| Indicadores led | : 2 |
| Dimensiones | : 49x26x12 mm |
| Peso | : 9 gramos |

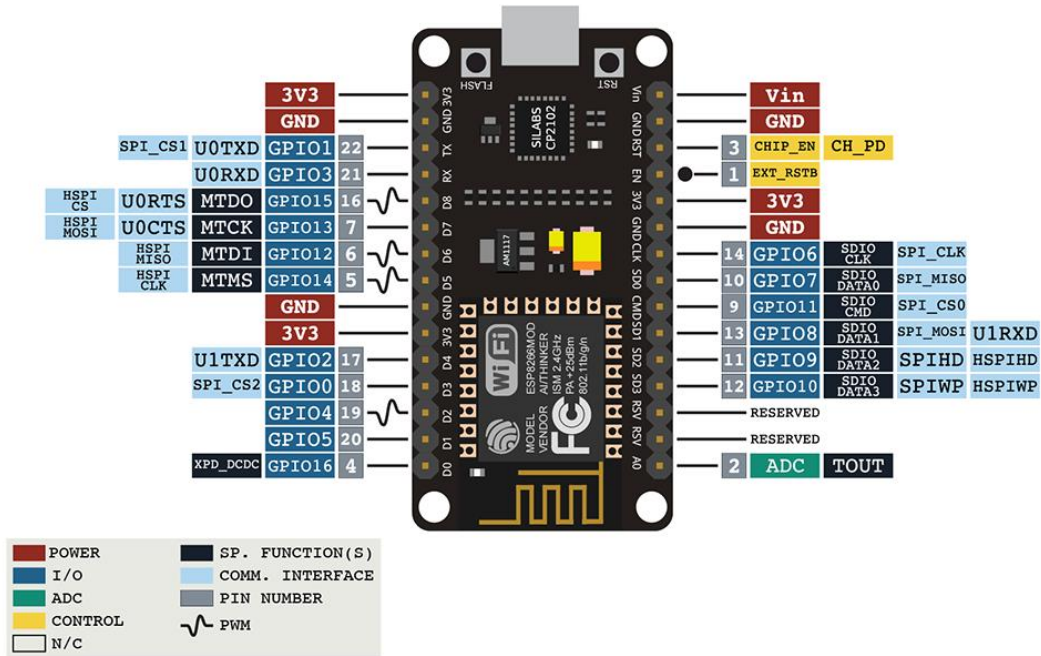
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°76: Periféricos de NodeMCU.

ESP-12E DEVELOPMENT BOARD
PINOUT

NOTES:

- ▲ Typ. pin current 6mA (Max. 12mA)
- ▲ For sleep mode, connect GPIO16 and EXT_RSTB. On wakeup, GPIO16 will output LOW for system reset.
- ▲ On boot/reset/wakeup, keep GPIO15 LOW and GPIO2 HIGH.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>

B. Voltímetro / Amperímetro DC 0-100V 0-10A

El medidor Voltímetro/Amperímetro DC 0-100V 0-10A puede medir simultáneamente el voltaje y corriente DC en el rango de 0 a 100 voltios y 0 a 10 amperios. Incluye una resistencia Shunt interna para medir la corriente, así como dos potenciómetros de calibración en placa.

Figura N°77: Voltímetro/Amperímetro



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/244-voltimetro-amperimetro-dc-0-100v-0-10a.html>

Tabla N°28: Características del Voltímetro/Amperímetro.

| Características | |
|------------------------|-----------------|
| Voltaje | : 4.5V – 30V DC |
| Consumo de corriente | : <20mA |
| Voltaje de medición | : 0-100 VDC |
| Corriente de medición | : 0-10A |
| Resolución | : 0.1V/0.1A |
| Periodo de refresco | : 0.5s |
| Color de display | : Rojo y Azul |
| Display de dígitos led | : 7-seg 0.28" |
| Dimensiones | : 48x29x21 mm |
| Agujero de montaje | : 45.5*26.5 mm |
| Peso | : 19 gramos |

Elaborado por el equipo de trabajo

C. Display Alfanumérico LCD 2004

Los sistemas digitales embebidos como Arduino, Pic u otros trabajan únicamente con lógica binaria (0 y 1), es por eso que para "leer" los datos

empleamos pantallas o displays alfanuméricos LCD. Esta pantalla te puede servir para hacer debugging o correcciones en tus distintos proyectos, sobretodo en el manejo de sensores y procesamiento de datos.

Figura N°78: Display Alfanumérico LCD 2004.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/lcd-alfanumerico/158-display-lcd-2004-azul-backlight.html>

Tabla N°29: Características de Display Alfanumérico LCD 2004.

| Características | |
|---------------------------|-----------------------|
| Voltaje de Operación | : 5V |
| Interface de comunicación | : Paralelo 4 u 8 bits |
| Color Texto | : Blanco |
| Backlight | : Azul |
| Filas | : 4 |
| Columnas | : 20 |

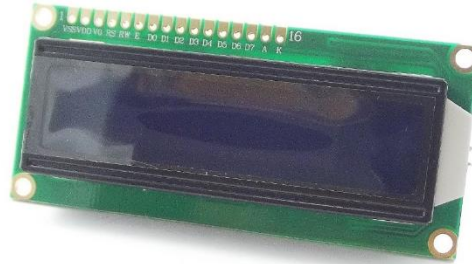
Elaborado por el equipo de trabajo

D. Display Alfanumérico LCD 1602

Los sistemas digitales embebidos como Arduino/PIC/ESP8266/ESP32/RaspberryPi u otros trabajan únicamente con lógica binaria (0 y 1), es por eso que para "leer" los datos empleamos pantallas o displays alfanuméricos LCD. El Display LCD1602 permite mostrar texto/números/caracteres,

además hacer debugging o correcciones en nuestros proyectos sobre todo cuando se trabaja con sensores y procesamiento de datos.

Figura N°79: Display Alfanumérico LCD 1602.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/lcd-alfanumerico/110-display-alfanumerico-lcd-1602.html>

Tabla N°30: Características de Display Alfanumérico LCD 1602.

| Características | Display |
|---------------------------|-----------------------|
| Voltaje de Operación | : 5V |
| Interface de comunicación | : Paralelo 4 u 8 bits |
| Color Texto | : Blanco |
| Backlight | : Azul |
| Filas | : 2 |
| Columnas | : 16 |
| Dimensiones Pantalla | : 64.5x14.5 mm |
| Dimensiones externas | : 80.0*36.0 mm |

Elaborado por el equipo de trabajo

E. Modulo adaptador LCD a I2C

Conectar nuestra pantalla LCD con Arduino es mucho más sencillo con la ayuda del Módulo adaptador de LCD a interfaz I2C pues permite manejar nuestro LCD

utilizando solo 2 pines (SDA y SCL). Este módulo es compatible con los LCD 1602 y LCD 2004. El Módulo está basado en el controlador I2C PCF8574 que es un Expansor de Entradas y Salidas digitales controlado por I2C. Por el diseño del PCB este módulo se usa especialmente para controlar un LCD Alfanumérico.

Figura N°80: Modulo adaptador LCD.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/lcd-alfanumerico/60-modulo-adaptador-lcd-a-i2c.html>

Tabla N°31: Características de Modulo adaptador LCD

| Características | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Voltaje de Alimentación | : 5V |
| Controlador | : PCF8574 |
| Dirección I2C | : 0x3F (en algunos modelos es 0x27) |
| Compatible con | : protocolo I2C |
| para ajuste de contraste | : Potenciómetro |
| para Luz de fondo | : Jumper |

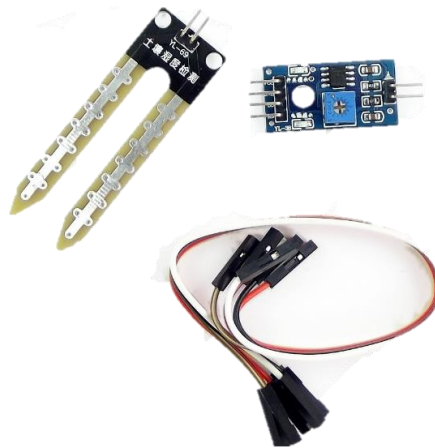
Elaborado por el equipo de trabajo

F. Sensor de Humedad de Suelo FC-28

El Sensor de humedad de Suelo FC-28 permite medir de forma sencilla la humedad del suelo por medio de 2 electrodos resistivos. Compatible con Arduino, PIC,

ESP8266/NodeMCU/NodeMCU-32. El sensor es ideal para monitorear el nivel de humedad de tus plantas y así recordar cuando necesitan ser regadas o incluso para realizar un sistema totalmente automatizado de riego añadiendo una válvula o una bomba de agua. Si el sistema se conecta a internet podríamos controlar/monitorear nuestro jardín desde cualquier lugar del mundo!

Figura N°81: Sensor de Humedad de suelo FC-28.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-de-suelo-fc-28.html>

Tabla N°32: Sensor de Humedad de suelo FC-28.

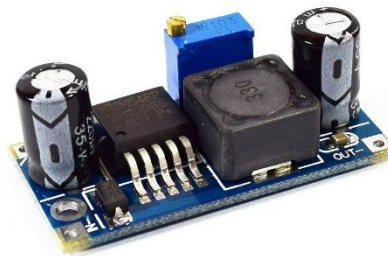
| Características | |
|---|----------------------|
| Voltaje de alimentación | : 3.3V - 5V DC (VCC) |
| Corriente de operación | : 35mA |
| Voltaje de señal de salida analógico (AO) | : 0 a VCC |
| Voltaje de señal de salida digital (DO) | : 3.3V/5V TTL |
| Superficie de electrodo | : Estaño2 |
| Dimensiones YL-38 | : 30x16 mm |
| Dimensiones YL-69 | : 64.5x14.5 mm |

Elaborado por el equipo de trabajo

G. Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596

El convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596 tiene como función entregar un voltaje de salida constante inferior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga. Soporta corrientes de salida de hasta 3A, voltaje de entrada entre 4.5V a 40V y voltaje de salida entre 1.23V a 37V. El voltaje de salida se selecciona mediante un potenciómetro multivuelta.

Figura N°82: Convertidor Voltaje dc-dc.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>

Tabla N°33: Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596.

| Características | |
|--------------------------|---|
| Convertidor DC-DC Buck | : LM25965V |
| Voltaje de entrada | : 4.5V a 40V DC |
| Voltaje de salida | : 1.23V a 37V DC |
| Corriente de Salida | : máx. 3A, 2.5A recomendado (usar disipador para corrientes mayores a 2A) |
| Potencia de salida | : 25W |
| Eficiencia de conversión | : 92% |
| Regulación de carga | : $S(I) \leq 0.5\%$ |



(continuación...)

| | |
|--|------------------------|
| Regulación de voltaje | : S (u) \leq 0.5% |
| Frecuencia de Trabajo | : 150KHz |
| Protección de sobre-temperatura | : SI (apaga la salida) |
| Protección de corto circuito | : SI (hasta 5A) |
| Protección limitadora de corriente | : SI |
| Protección frente a inversión de polaridad | : NO |
| Dimensiones | : 43mmx21mmx13mm |

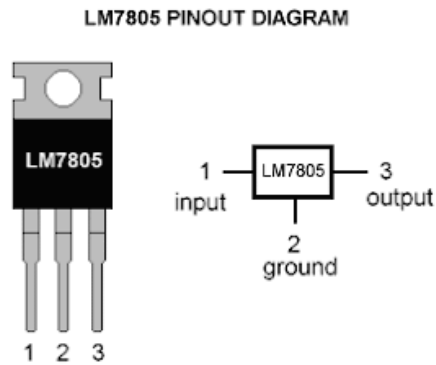
Elaborado por el equipo de trabajo

H. Regulador 7805

Es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de regular voltaje positivo de 5V a 1A de corriente, en la mayoría de los desarrollos con Arduino o con programadores Pic estamos obligados a garantizar una fuente de tensión constante, eso disminuye la posibilidad de dañar nuestro circuito debido a oscilaciones en los niveles de tensión, la forma más practica y simple de lograr esto es mediante el Regulador de voltaje 7805, básicamente es un dispositivo que cuenta con 3 pines.

- ✓ 1 – Tensión de entrada
- ✓ 2 – Masa
- ✓ 3 – Tensión de salida

Figura N°83: Regulador 7805



Fuente: <https://www.electrontools.com/Home/WP/regulador-de-voltaje-7805/>

Tabla N°34: Características de Regulador 7805

| Parameter | Symbol | Conditions | MC7805/LM7805 | | | Unit | |
|--------------------------|-------------------|---|---------------------------------|------|------|-------------------|----|
| | | | Min. | Typ. | Max. | | |
| Output Voltage | VO | T _J = +25 °C | 4.8 | 5.0 | 5.2 | V | |
| | | 5.0mA ≤ I _O ≤ 1.0A, P _O ≤ 15W V _I = 7V to 20V | 4.75 | 5.0 | 5.25 | | |
| Line Regulation (Note1) | Regline | T _J = +25 °C | V _O = 7V to 25V | - | 4.0 | 100 | mV |
| | | | V _I = 8V to 12V | - | 1.6 | 50 | |
| Load Regulation (Note1) | Regload | T _J = +25 °C | I _O = 5.0mA to 1.5A | - | 9 | 100 | mV |
| | | | I _O = 250mA to 750mA | - | 4 | 50 | |
| Quiescent Current | I _Q | T _J = +25 °C | - | 5.0 | 8.0 | mA | |
| Quiescent Current Change | ΔI _Q | I _O = 5mA to 1.0A | - | 0.03 | 0.5 | mA | |
| | | V _I = 7V to 25V | - | 0.3 | 1.3 | | |
| Output Voltage Drift | ΔVO/ΔT | I _O = 5mA | - | -0.8 | - | mV/°C | |
| Output Noise Voltage | V _N | f = 10Hz to 100KHz, T _A = +25 °C | - | 42 | - | μV/V _O | |
| Ripple Rejection | RR | f = 120Hz V _O = 8V to 18V | 62 | 73 | - | dB | |
| Dropout Voltage | V _{Drop} | I _O = 1A, T _J = +25 °C | - | 2 | - | V | |
| Output Resistance | r _O | f = 1KHz | - | 15 | - | mΩ | |
| Short Circuit Current | I _{SC} | V _I = 35V, T _A = +25 °C | - | 230 | - | mA | |
| Peak Current | I _{PK} | T _J = +25 °C | - | 2.2 | - | A | |

Fuente: <https://www.electrontools.com/Home/WP/regulador-de-voltaje-7805/>

I. Condensador 220uF/25v

Un capacitor electrolítico es un tipo de condensador que usa un líquido iónico conductor como una de sus placas. Típicamente con más capacidad por unidad de volumen que otros tipos de condensadores, son valiosos en circuitos eléctricos con

relativa alta corriente y baja frecuencia. Este es especialmente el caso en los filtros de alimentadores de corriente, donde se usan para almacenar la carga, y moderar la tensión eléctrica de salida y las fluctuaciones de corriente en la salida rectificada. También son muy usados en los circuitos que deben conducir corriente continua pero no corriente alterna

Figura N°84: Condensador 220uF/25v.



Fuente: <https://tostatronic.com/store/componentes-pasivos/832-capacitor-electrolitico-220uf-25v.html>

Tabla N°35: Características de Condensador 220uF/25v

| Características | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Capacitor electrolítico de aluminio | : 220 uF a 25 Volts |
| Rango de temperatura | : +85 a -40° Celsius |
| Tolerancia | : ±20%. |

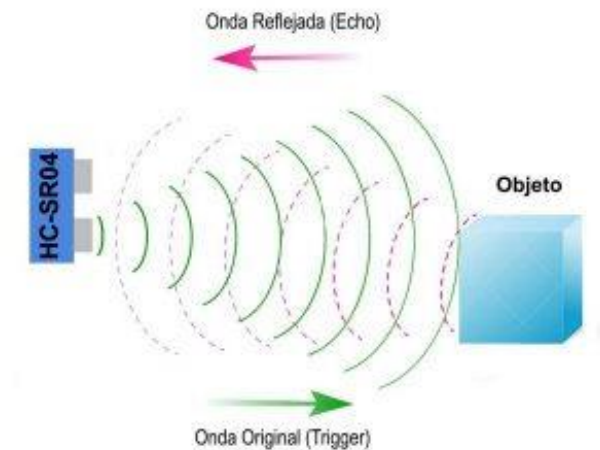
Elaborado por el equipo de trabajo

J. SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04

El sensor HC-SR04 es un sensor de distancia que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango de 2 a 450 cm. Destaca por su pequeño tamaño, bajo consumo energético y buena precisión. El sensor HC-SR04 es el más

utilizado dentro de los sensores de tipo ultrasonido. Es el más empleado en proyectos de robótica como robots laberinto o sumo, y en proyectos de automatización como sistemas de medición de nivel o distancia.

Figura N°85: Esquema de funcionamiento del sensor ultrasónico.



Fuente: <https://smelpro.com/blog/sensor-hc-sr04/>

El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos, además de la electrónica necesaria para su operación. El funcionamiento del sensor es el siguiente: el emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido(40KHz) luego de recibir la orden en el pin TRIG, las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego el pin ECHO cambia a Alto (5V) por un tiempo igual al que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada, el tiempo del pulso ECO es medido por el microcontrolador y así se puede calcular la distancia al objeto. El funcionamiento del sensor no se ve afectado por la luz solar o material de color negro (aunque los materiales blandos acústicamente como tela o lana pueden llegar a ser difíciles de detectar).

Figura N°86: Sensor ultrasónico HC-SR04.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

Tabla N°36: Características de Sensor ultrasónico HC-SR04.

| Características | Display |
|--|----------------------|
| Voltaje de Operación | : 5V DC |
| Corriente de reposo | : < 2mA |
| Corriente de trabajo | : 15mA |
| Rango de medición | : 2cm a 40KHz |
| Precisión | : +- 3mm |
| Ángulo de apertura | : 15° |
| Frecuencia de ultrasonido | : 40KHz |
| Duración mínima del pulso de disparo TRIG (nivel TTL) | : 10 μ S |
| Duración del pulso ECO de salida (nivel TTL) | : 100-25000 μ S |
| Dimensiones | : 45mm x 20mm x 15mm |
| Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra | : 20ms p 50ms |

Elaborado por el equipo de trabajo

K. TABLERO ELECTRICO

Figura N°87: Tablero Eléctrico.



Fuente: <https://legrand.com.pe/producto/armarios-de-distribucion-industrial/>

Tabla N°37: Características de Tablero Eléctrico.

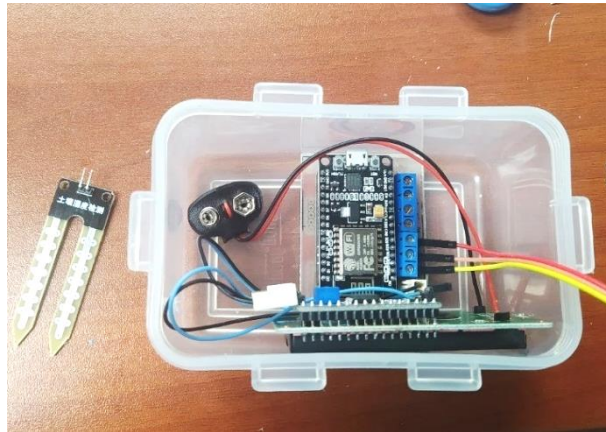
| Características | Tablero Eléctrico |
|------------------------|--------------------------|
| Protección IP | : 65 |
| Largo | : 40cm |
| Ancho | : 20cm |
| Altura | : 15cm |

Elaborado por el equipo de trabajo

L. MONTAJE DEL SENSOR DE HUMEDAD

El sensor de humedad de la siguiente manera con una caja con protección de humedad, la función de todo el sistema es enviar información de manera inalámbrica al tablero de control.

Figura N°88: montaje del sistema del sensor de humedad.

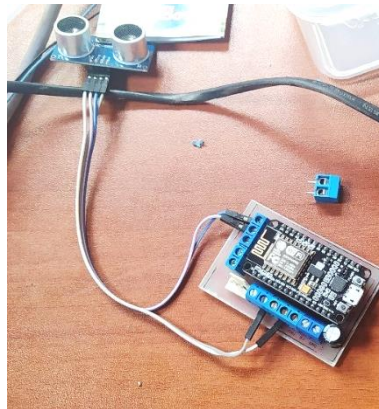


Elaborado por el equipo de trabajo

M. MONTAJE DEL SENSOR ULTRASONICO

El sensor de ultrasónico es montado de la siguiente manera también en una caja de plástica con protección de humedad, que servirá también para controlar la ida y el regreso de la carreta de descarga, que será controlado de manera inalámbrica.

Figura N°89: Montaje del sistema del sensor ultrasónico.



Elaborado por el equipo de trabajo

N. MONTAJE DEL TABLERO DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LAS TRES TARJETAS

En esta parte vemos el montaje del tablero de control, que esta conformada con los componentes ya mencionados.

Figura N°90: Montaje de tablero eléctrico.



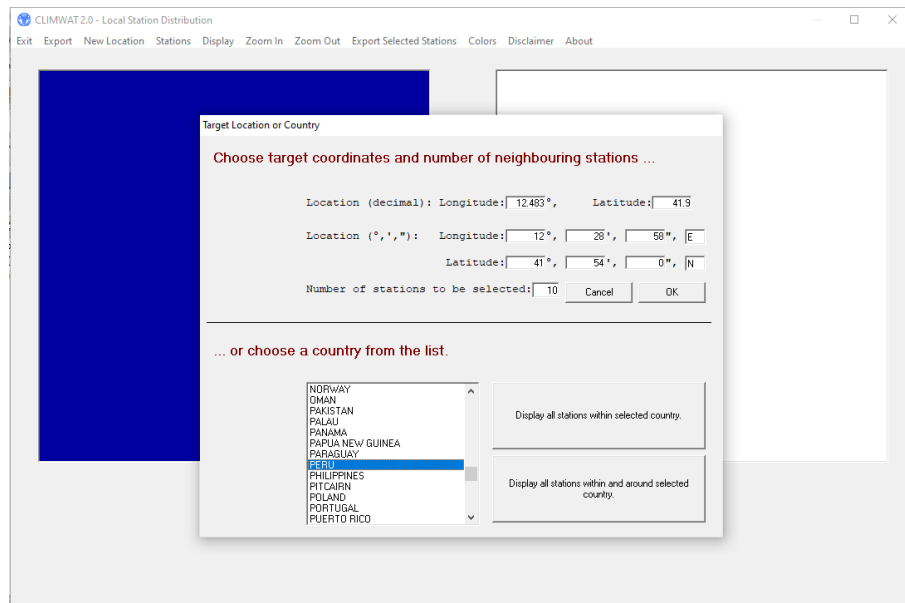
Elaborado por el equipo de trabajo

P. EXTRACCION DE DATOS METEOROLOGICOS

A. CLINWAT 2.0

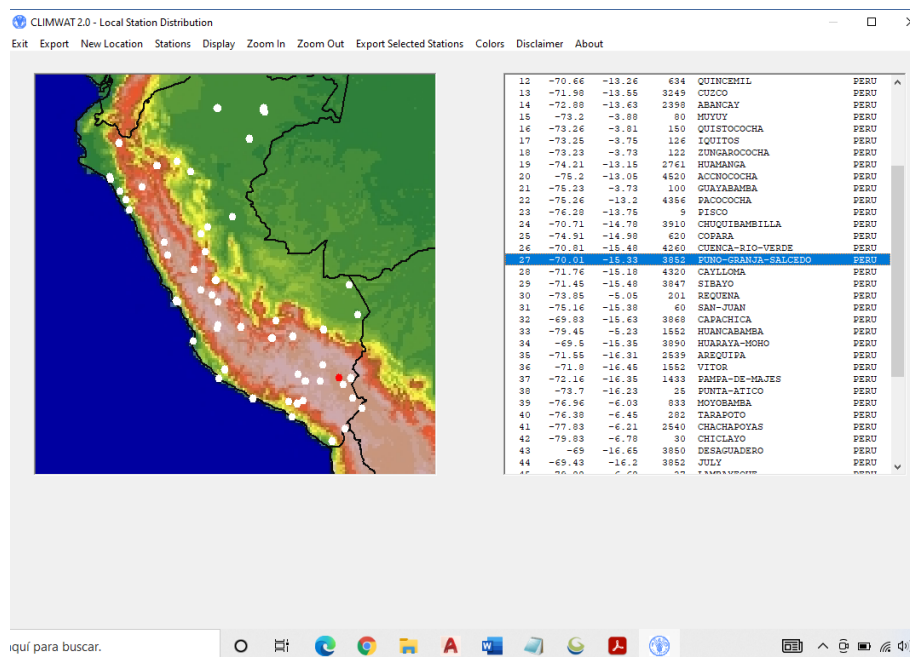
es una base de datos climática que se utiliza en combinación con el programa informático CROPWAT. y permite el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos, el suministro de riego y la programación de riego para varios cultivos para una variedad de estaciones climatológicas en todo el mundo. (FAO, 2021)imwat 2.0.

Figura N°91: CLIMWAT



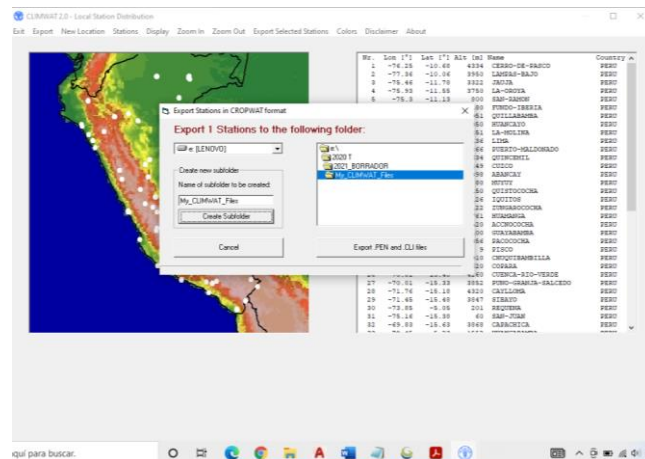
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°92: Selección de coordenadas de nuestra Región en Climwat 2.0.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°93: Exportación de datos climatológicos de Climwat 2.0.



Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se muestra la tabla de datos climatológicos que se exportó de climwat 2.0 de nuestra región de Puno.

Tabla N°38: Tabla de datos climatológicos exportados de Climwat.

| Mes | Temp Min | Temp Max | Humedad | Viento | Insolación | Rad | ETo |
|------------|----------|----------|---------|--------|------------|------------------------|--------|
| | °C | °C | % | km/día | horas | MJ/m ² /día | mm/día |
| Enero | 3.7 | 16.1 | 78 | 86 | 6.5 | 20.6 | 3.51 |
| Febrero | 3.8 | 15.5 | 77 | 86 | 5.6 | 18.9 | 3.24 |
| Marzo | 3.3 | 15.1 | 75 | 86 | 6.4 | 19.1 | 3.16 |
| Abril | 2 | 15.4 | 67 | 86 | 8.1 | 19.7 | 3.11 |
| Mayo | 0.3 | 14.9 | 60 | 86 | 7.2 | 16.3 | 2.59 |
| Junio | -2 | 14.4 | 53 | 86 | 8.2 | 16.5 | 2.45 |
| Julio | -2.4 | 14.4 | 53 | 86 | 7.7 | 16.3 | 2.45 |
| Agosto | -1.5 | 15.5 | 55 | 86 | 8.2 | 18.8 | 2.9 |
| Septiembre | 0.8 | 16.2 | 61 | 86 | 7.8 | 20.4 | 3.31 |
| Octubre | 1.8 | 17.4 | 56 | 86 | 7.8 | 21.9 | 3.78 |
| Noviembre | 2.4 | 17.3 | 61 | 86 | 8.1 | 23 | 3.96 |
| Diciembre | 3.4 | 16.6 | 68 | 86 | 6.7 | 20.9 | 3.66 |
| Promedio | 1.3 | 15.7 | 64 | 86 | 7.4 | 19.4 | 3.18 |

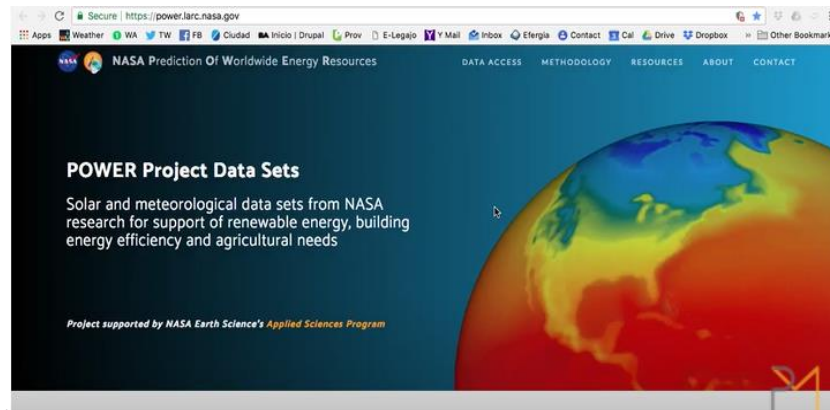
Fuente: climwat 2.0

B. POWER DATA ACCESS VIEWER (NASA)

El visor de acceso a datos de POWER contiene parámetros relacionados con la meteorología y la energía solar formulados para evaluar y diseñar sistemas de energía renovable.

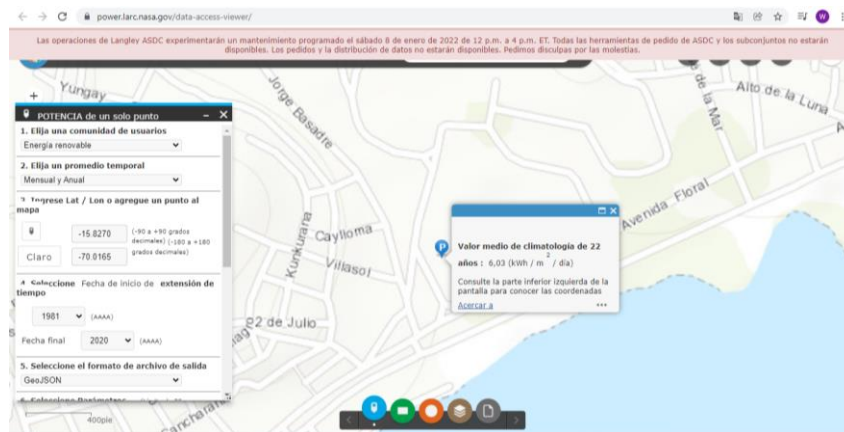
Dentro de este apartado seleccionaremos el mes de dimensionamiento en función de los datos de irradiación proporcionados. Conseguimos los datos de irradiación media mensual tras introducir los datos de altitud y latitud para fijar la posición geográfica.

Figura N°94: Página principal de Power Data Acces Viewer NASA.



Elaborado por el equipo de trabajo

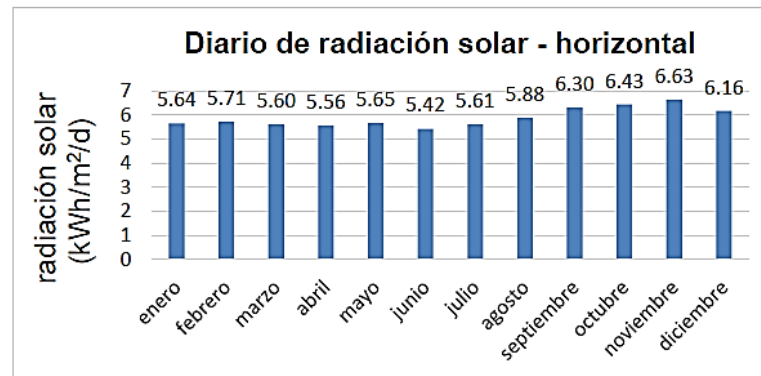
Figura N°95: Introducción de coordenadas de nuestra región de Puno a Power Data Acces Viewer NASA.



Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se muestra los datos exportados de Power Data Acces Viewer NASA, de nuestra región de Puno.

Figura N°96: Irradiación media de cada mes y del año exportados de NASA.



Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov>

C. SERVICIO NACIONAL METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

SENAMHI

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) es un organismo técnico especializado del Estado Peruano que brinda información sobre el pronóstico del tiempo, así como asesoría y estudios científicos en las áreas de hidrología, meteorología, agrometeorología y asuntos ambientales.

Tabla N°39: Valores de radiación en todos los meses del año de SENAMHI.

| Mes | Irradiación [kWh/m²] |
|------------|----------------------|
| Enero | 5.25 |
| Febrero | 6.25 |
| Marzo | 6.25 |
| Abril | 5.25 |
| Mayo | 5.75 |
| Junio | 4.75 |
| Julio | 4.75 |
| Agosto | 4.75 |
| Septiembre | 5.75 |
| Octubre | 5.75 |
| Noviembre | 6.25 |
| Diciembre | 4.75 |
| Promedio | 5.46 |

Fuente: Senamhi.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En este capítulo se describe los cálculos del dimensionamiento para el prototipo móvil de riego. La implementación está diseñada con fines académicos para el área de energías renovables y control e automatización de la EPIME.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para el diseño del prototipo son:

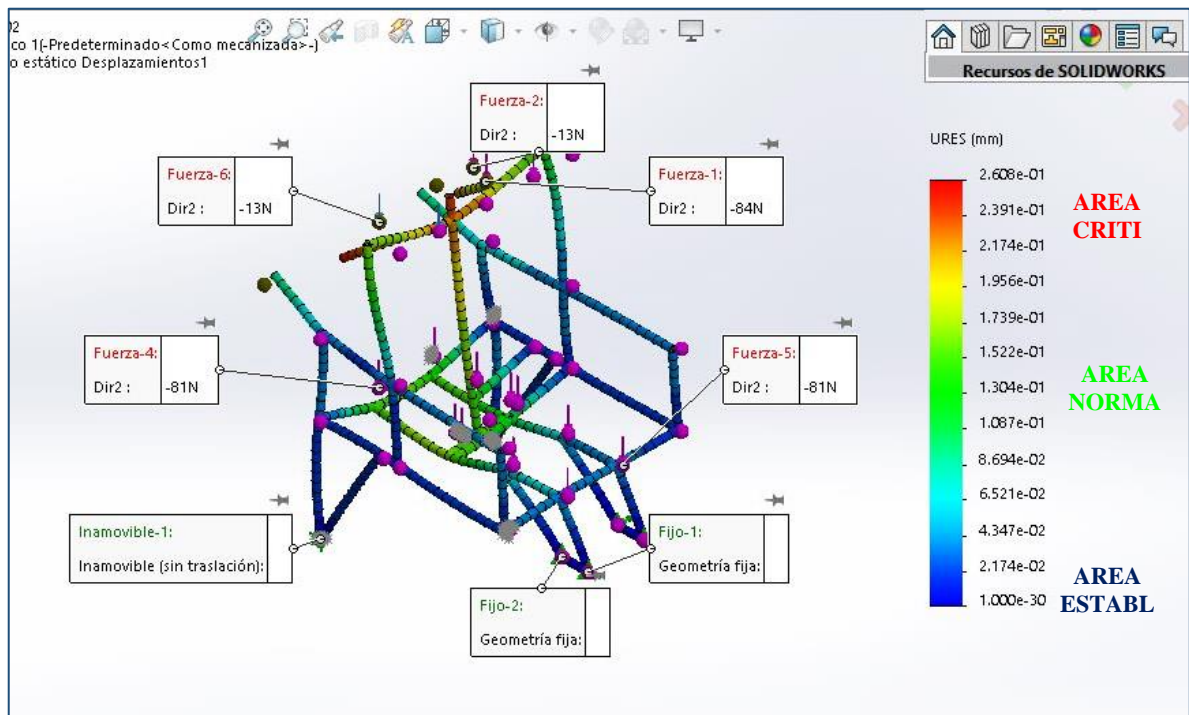
- Seguridad
- Maniobrabilidad
- Adaptabilidad
- Controlabilidad

4.2. RESULTADO DE CALCULO DE SISTEMA MECANICO

Con la ayuda del software SOLIDWORK se realizó el cálculo de resistencia mecánica y el modelamiento de la estructura del prototipo.

- En la presente figura se muestra el resultado del cálculo final de análisis de las cargas actuantes que generan toda la estructura del prototipo (en las vigas, juntas soldadas y juntas empernadas). Además, se dio una solución inmediata a las fallas constantes de la estructura por medio de la simulación y selección de perfiles adecuadas que prolongue la vida útil de la estructura del prototipo, disminuya costos de fabricación y el alineamiento de la estructura del prototipo, por lo cual perdure en el tiempo de operación.

Figura N°97: Resultado de Análisis de la estructura de SOLIDWORK.



Elaborado por el equipo de trabajo

- A continuación, se presenta los modelamientos en 3D de elementos del prototipo, realizados en software SOLIDWORK.

Figura N°98: Modelamiento 3D de carreta de descarga (aspersores).



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°99: Modelamiento 3D de carreta impulsora.



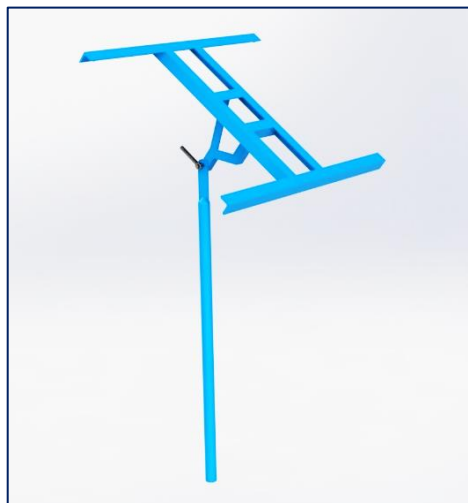
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°100: Modelamiento 3D de soporte de motorreductor.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°101: Modelamiento 3D de soporte de panel solar.



Elaborado por el equipo de trabajo

4.3. RESULTADO DEL SISTEMA HIDRAULICO

4.3.1. Selección de microaspersor

Tratándose de un prototipo se optó por conveniente utilizar dos micro aspersores, que generalmente se utiliza para riego de jardines, a la vez también se realizó la prueba en un área pequeña de 20m² que es el área de un jardín de la Escuela Profesional de Ing. Mecánica eléctrica – UNAP.

Tabla N°40: Características de selección de micro aspersor 01.

| DIÁMETRO DE HUMEDECIMIENTO (m) A 2.0 BAR Y 0.25 m DEL NIVEL DEL SUELO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|------|---------|------------|---------------|-------|------------|---------|----------------|------------------|-----------------|--------|-----------|------|
| Antineblina (Ø) | Color de boquilla | Caudal (l/h) | Diámetro de boquilla (mm) | Difusores estáticos Rotores | | | | | | | | Rotores | | | | | |
| | | | | 90° | 180° | Neblina | En franjas | Corto alcance | Plano | 12 Chorros | Pequeño | Contra hormiga | Lado único Negro | Lado único Azul | Grande | Invertido | |
| | | | | | | | | | | | | | | Altura (m) | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 0.60 | 1.80 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Violeta | 35 | 0.82 | 1.7 | 2.2 | 1.5 | 3.2 | 0.9 | 2.8 | 3.4 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | | | 5.0 | 6.0 |
| | Marrón | 43 | 0.94 | 1.7 | 2.5 | 1.8 | 4.2 | 0.9 | 3.4 | 4.5 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | | | 5.5 | 6.5 |
| | Gris | 70 | 1.16 | 2.5 | 2.7 | | 8.5 | 0.9 | 3.4 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.5 | | | 6.5 | 7.5 |
| | Verde | 105 | 1.41 | 3.5 | 2.7 | | 9.0 | 0.9 | 3.4 | 6.0 | 6.0 | 7.0 | 7.5 | | 9.0 | 8.0 | 8.5 |
| | Naranja | 120 | 1.50 | 4.5 | 2.7 | | 9.0 | 0.9 | 4.0 | 6.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | | 9.0 | 8.0 | 9.0 |
| | Amarillo | 160 | 1.73 | | | | | | | | 6.5 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 9.0 | 9.0 | 9.5 |
| | Azul | 200 | 1.92 | | | | | | | | | 8.0 | 8.5 | 8.5 | 9.0 | 9.0 | 10.0 |
| | Marfil | 235 | 2.07 | | | | | | | | | | 8.5 | 9.0 | 10.0 | 9.0 | 10.5 |
| | Rojo | 260 | 2.18 | | | | | | | | | | 8.5 | 10.0 | 10.0 | 9.0 | 11.0 |
| | Negro | 300 | 2.34 | | | | | | | | | | 9.0 | 10.5 | 10.0 | 9.5 | 11.0 |
| Verde /0.94 | Verde | 40 | 1.41 | 2.0 | 1.2 | | 2.8 | 0.8 | 3.5 | 2.5 | 4.0 | | | | | 4.5 | 6.0 |
| Naranja /1.16 | Naranja | 70 | 1.50 | 2.2 | 2.2 | | 5.0 | 0.8 | 3.5 | 4.5 | 5.0 | | | | | 6.0 | 7.5 |
| Amarillo /1.40 | Amarillo | 90 | 1.73 | 2.5 | 2.5 | | 5.5 | 0.9 | 4.0 | 5.0 | 5.5 | | | | | 6.0 | 8.0 |
| Azul /1.50 | Azul | 120 | 1.92 | 2.5 | 2.7 | | 7.0 | 1.0 | 4.0 | 6.0 | 6.0 | | | | | 6.5 | 8.0 |

Fuente: [https://www.agrolinkirriga.com.br/pdf/emissores/NDJ-Cat-Microaspersores-](https://www.agrolinkirriga.com.br/pdf/emissores/NDJ-Cat-Microaspersores-Esp.pdf)

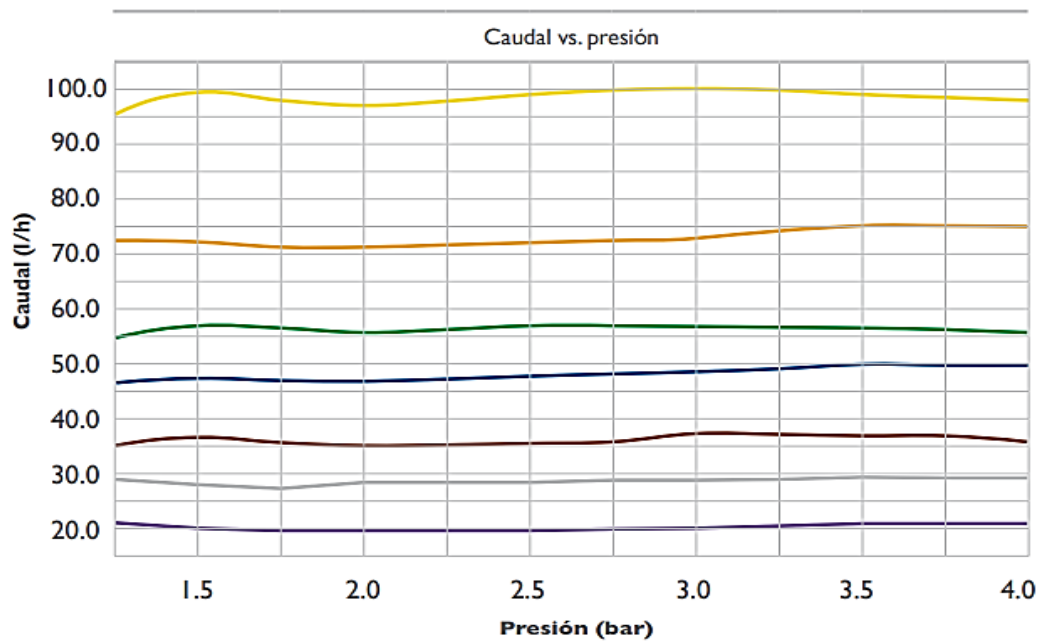
Esp.pdf

Tabla N°41: Características de selección de micro aspersor 02.

| UNIFORMIDAD DE RIEGO | | | 1.5 bar | | 2.0 bar | | 2.5 bar | |
|----------------------|-------------------|---------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Rotor | Color de boquilla | Boquilla (mm) | l/h | D (m) | l/h | D (m) | l/h | D (m) |
| Negro | Violeta | 0.80 | 30.3 | 5.5 | 35 | 5.5 | 39.1 | 5.5 |
| | Marrón | 0.94 | 43.3 | 6.5 | 50 | 6.5 | 55.9 | 6.5 |
| Azul | Gris | 1.14 | 60.6 | 7.0 | 70 | 7.0 | 78.3 | 7.0 |
| | Verde | 1.40 | 90.9 | 8.5 | 105 | 9.0 | 117.4 | 9.0 |
| Verde | Naranja | 1.50 | 103.9 | 9.0 | 120 | 9.5 | 134.2 | 9.5 |
| | Negro | 1.74 | 138.6 | 9.5 | 160 | 9.5 | 178.9 | 10.0 |
| | Azul | 1.94 | 173.2 | 10.5 | 200 | 10.0 | 223.6 | 11.0 |
| | Amarillo | 2.16 | 215.0 | 10.5 | 250 | 11.5 | 305.0 | 12.0 |
| | Rojo | 2.36 | 260.0 | 12.0 | 300 | 12.5 | 365.0 | 12.5 |

Fuente: <https://www.agrolinkirriga.com.br/pdf/emissores/NDJ-Cat-Microaspersores-Esp.pdf>

Figura N°102: Curvas de funcionamiento del aspersor.

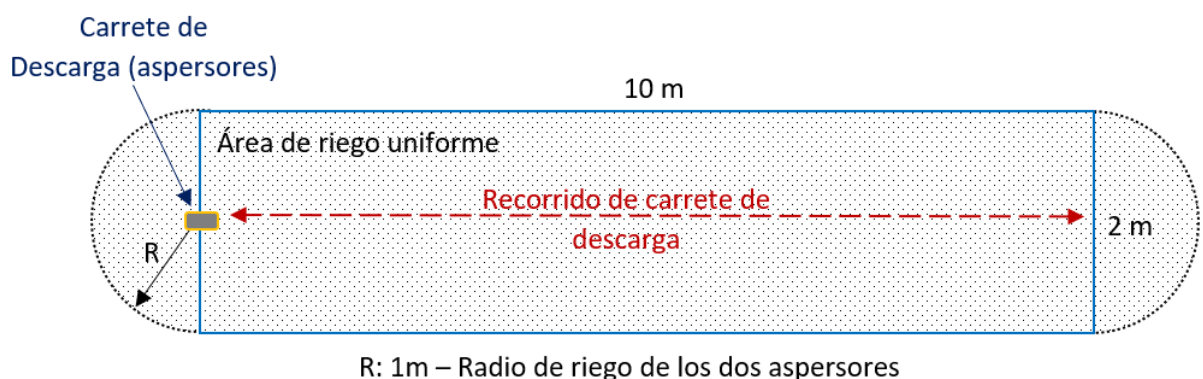


Fuente: <https://www.agrolinkirriga.com.br/pdf/emissores/NDJ-Cat-Microaspersores-Esp.pdf>

4.3.2. Área experimental de irrigación

Las pruebas se realizaron en un área de terreno de 20m² (L=10, A=2m) no obstante, los aspersores son montadas en la carreta de descarga, los cuales tienen 1m de radio de descarga, el cual tendrá un recorrido lineal de 10m en un tiempo de ida y vuelta de 8 minutos.

Figura N°103: Área para riego uniforme.



Elaborado por el equipo de trabajo

4.3.3. Dimensionamiento de electrobomba

Para el dimensionamiento se tomó en cuenta la siguiente ecuación.

$$P_t = P \times A \dots \dots \dots \text{(Ec. 13)}$$

Donde:

P: 2 bar, Presión de trabajo de aspersor

A: 2, Cantidad de aspersores

P_t = 4 BAR, Presión necesaria para el trabajo eficiente de los dos aspersores

Una vez obtenido la presión necesaria se seleccionó el tipo de la electrobomba, por lo siguiente se selecciona una bomba que trabaje no menor a 4bares, en este caso se optó por una bomba de tipo diafragma como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°42: Característica de Electrobombas.

| Modelo | Voltaje | Flujo abierto (GPM / LPM) | Tipo de control | Dibujo máximo | Presión de cierre (PSI / BAR) | Valvulas | Diafragma | Puertos | Conexiones de cables |
|------------------|---------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|----------|------------|--------------|----------------------|
| SFDP1-010-040-21 | 12V | 1.0 / 3.8 | Cambiar | 4.0A | 40 / 2,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP2-010-040-21 | 24 V | 1.0 / 3.8 | Cambiar | 2.0A | 40 / 2,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP1-011-070-21 | 12V | 1.1 / 4.0 | Cambiar | 4.0A | 70 / 4,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP2-011-070-21 | 24 V | 1.1 / 4.0 | Cambiar | 2.0A | 70 / 4,8 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP1-012-035-21 | 12V | 1.2 / 4.3 | Cambiar | 4.0A | 35 / 2,4 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |
| SFDP2-012-035-21 | 24 V | 1.2 / 4.3 | Cambiar | 2.0A | 35 / 2,4 | EPDM | Santopreno | Púa de 3/8 " | 2 pines / cables |

Fuente: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/601.html>

4.4. RESULTADOS DEL SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA

Se realizó las pruebas de fricción mecánica de la cual se obtuvo la fuerza general de F2, con la ayuda de un dinamómetro analógico.

Tabla N°43: Datos de fuerza general F2.

| N° | DESCRIPCION | | |
|----|-------------|----|----|
| | Fuerza | kg | N |
| 1 | F2 | 8 | 78 |

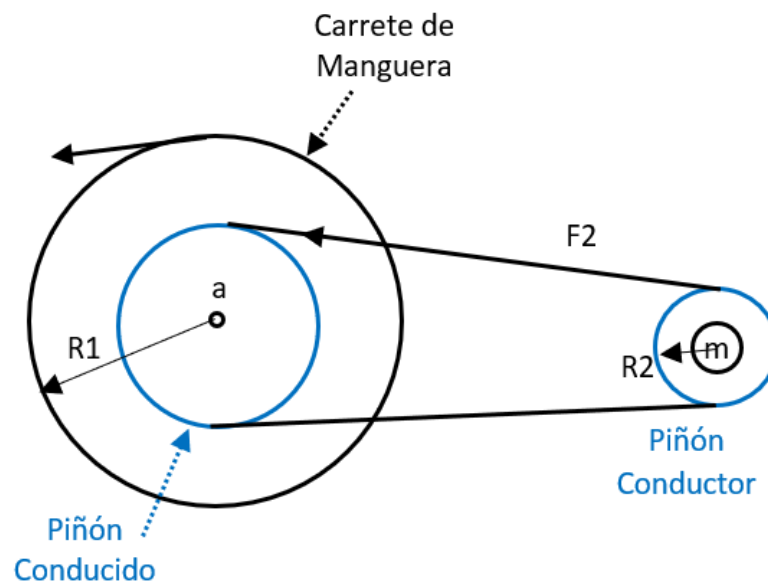
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°104: Obtención de fuerza.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°105: Esquema de fuerzas existente sobre sistema de transmisión mecánica



Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.1. Dimensionamiento de motorreductor

4.4.1.1. Torque necesario en el eje del motorreductor

Se calcula el torque en el eje “m” del motorreductor, tomando como dato la fuerza sobre el piñón conductor, en la siguiente expresión:



$$Tm = R2xF2..... (Ec. 14)$$

Donde:

$F2 = 78 \text{ N}$, Fuerza total de la carreta.

$R1 = 0.11\text{m}$, Radio de carrete de la manguera.

$R2 = 0.025\text{m}$, Radio del piñón conductor.

$Tm = 1.95 \text{ Nm}$, Torque en el motorreductor.

Con el dato obtenido de $Tm=1.95\text{Nm}$, de torque que ayudara a enrollar la manguera a su vez facilitara el movimiento lineal de la carreta de descarga, seguidamente se seleccionó el motorreductor con las siguientes características como se muestra en la tabla.

Tabla N°44: Características del motorreductor seleccionado.

| N° | DESCRIPCION | CARACTERISTICAS |
|----|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | Voltaje | 12VDC |
| 2 | Velocidad | 16 RPM (revoluciones por minuto) |
| 3 | Diametro del eje | 6 mm |
| 4 | Fuerza nominal | 10 kgf.cm/ N.m |
| 5 | Fuerza máxima eficiencia | 30 kgf.cm/2.94 N.m |
| 6 | Tamaño de la caja reductora | 37mmx26mm |
| 7 | Tamaño del motor | 32mmx16mm |

Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.2. RPM en el carrete de la manguera

Para el cálculo del RPM en el carrete de la manguera, tomaremos el RPM del motorreductor en la siguiente expresión:



$$N1xD1 = N2xD2..... (Ec. 15)$$

Donde:

D1 = 0.22 m, Diámetro de carrete de la manguera.

D2 = 0.05 m, Diámetro del piñón conducido.

N2 = 16 RPM, Piñón conductor.

N1 = 3.60 RPM, del carrete de la manguera.

4.4.3. Velocidad lineal de la carreta de descarga

El RPM del carrete de la manguera fue necesaria para calcular la velocidad lineal de la carreta de descarga con la siguiente expresión:

$$V = 2\pi x R1 x N1 / 60..... (Ec. 16)$$

Donde:

R1 = 0.11 m, Radio de carrete de la manguera.

N1 = 3.60 RPM, Velocidad angular del carrete de la manguera.

$\pi = 3.14159$

V = 0.042 m/s, Velocidad de la carreta de descarga.

La carreta de descarga se moverá con una velocidad de 0.042 m/s, durante el riego.

4.5. RESULTADOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se realizó varios cálculos, en primer lugar, la demanda máxima y la potencia consumida durante un día, los cuales serán necesarios para dimensionar la batería y el panel solar para la carga de la batería.

4.5.1. Cálculo de demanda máxima

Para este cálculo los datos necesarios son: la potencia de la electrobomba, la potencia del motorreductor, y la potencia total de todo el tablero de control y se calculó como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°45: Demanda máxima del prototipo.

| CUADRO DE DEMANDA MAXIMA | | | | | |
|--|--------|-----------------|-------------------|---------------|------------------|
| ZONA O CARGA | Puntos | C.U. (w/pto) | Pot. Inst. (w) | f.d. | Máx. Dem. (w) |
| C-1 :SISTEMA DE BOMBEO | | | | | |
| BOMBA DE DIAFRAGMA 12V DC, 1.5A - 70 PSI, 4LPM | 1.00 | 18.00 | 18.00 | 1.00 | 18.00 |
| C-2 :SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA | | | | | |
| MOTORREDUCTOR 12V - 16RPM | 1.00 | 2.40 | 2.40 | 1.00 | 2.40 |
| C-3 SISTEMA DE CONTROL | | | | | |
| TABLERO DE CONTROL | 1.00 | 5.16 | 5.16 | 1.00 | 5.16 |
| TOTAL | | P.I. = | 25.56 | M.D. = | 25.56 |

Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.2. Potencia consumida por día por el prototipo

Una vez obtenido la demanda máxima se calcula la potencia consumida en un día, se realiza con la siguiente formula:

$$E = P \times T \dots\dots\dots (Ec. 17)$$

Donde:

$$P = 25.56 \text{ W}, \quad \text{Demanda Máxima}$$



T = 6 horas, Tiempo de funcionamiento por día del equipo

E = 153.4 Wh/día, Potencia Consumida por día

La potencia consumida del prototipo durante un día es 153.4 Wh/día.

4.5.3. Dimensionamiento de batería

Con la siguiente formula se calcula la carga nominal necesaria de la batería para el funcionamiento del prototipo.

$$C_{nom_bat} = \frac{ExD}{V_{nom} \cdot xPD_{max} \eta_{bd}} \dots\dots\dots (Ec. 18)$$

Donde:

E = 153.4 Wh/día, Potencia consumida por día.

D = 1 día, Día de funcionamiento.

V_{nom} = 12 V, Tensión en el que trabajará la batería.

PD_{max} = 0.8, Eficiencia de la profundidad de descarga 80%.

η_{bd} = 0.7, Eficiencia de convertir de energía química a Energía Eléctrica 70% (sin inversor).

C_{nom_bat} = 25.36 Ah, Carga nominal de batería.

Teniendo la carga nominal cálculo de la batería seleccionamos el de 33Ah el inmediato superior encontrado en el mercado.

En seguida se calcula la cantidad de batería necesaria:



$$\text{Numero de baterias} = \frac{C_{nom_bat}}{\text{Carga de bateria}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 19})$$

Numero de baterías = 0.77, equivale a: 1 batería

La cantidad de baterías de 33 Ah, que se utilizará es de 1 batería.

4.5.4. Dimensionamiento de panel

Para el cálculo de la cantidad necesaria de paneles solares primero se calcula la potencia fotovoltaica con la siguiente expresión.

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Hora solar minima}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 20})$$

Donde:

$$E = 153.4 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Consumo diario} = E + (\text{factor de protección } 20\%)$$

$$\text{Consumo diario} = 184.032 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Hora solar mínima} = 4.5 \text{ h/día}$$

$$\text{Potencia fotovoltaica} = 40.896 \text{ W}$$

Teniendo la potencia necesaria calculada pasamos a seleccionar un panel de potencia de inmediato superior encontrada en el mercado que es de 50W.

A continuación, se calculará la cantidad necesaria de paneles solares:

$$\text{Numero de modulos} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del modulo}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 21})$$

Numero de módulos = 0.818 = 1 modulo

La cantidad necesaria es de 1 módulo de 50 W de potencia.

4.6. RESULTADOS DE EVALUACION DE RADIACION EN LA REGION DE PUNO

De acuerdo a nuestros objetivos planteados se pudo evaluar la radiación solar en la región de Puno, con los datos obtenidos de diferentes fuentes:

Tabla N°46: Resultados de avaluación de radiación

| N° | FUENTE | MES | RADIACION mj/m2/dia | RADIACION (kwh/m2/dia) |
|----|---------------------------------|-------|------------------------|---------------------------|
| 1 | CLIMWAT 2.0 | Julio | 16.3 | 4.53 |
| 2 | POWER DATA ACCESS VIEWER (NASA) | Junio | - | 5.42 |
| 3 | SENAMHI - PUNO | Julio | - | 4.75 |

Elaborado por el equipo de trabajo

Por lo tanto, teniendo estos resultados más críticos de la radiación solar en la región de Puno, se tomó el dato: 4.53 kwh/m2/día del mes de julio, para luego evaluarlo.

4.6.1. Análisis de factibilidad de radiación en la región de puno

Con el dato de la radiación critica evaluada anteriormente $R_c = 4.53 \text{ Kwh/m}^2$, se calcula la potencia pico del módulo fotovoltaico seleccionado deberá ser mayor o igual a la potencia pico requerida por la instalación, con la siguiente expresión:

$$P_{pn} = \frac{E}{\eta_{sist.}} \times \frac{G_{CEM}}{F_{mx}(1-\delta(T_m-T_{CEM}))} \times G_{dm} \dots \dots \dots \text{(Ec. 22)}$$

Donde:

$E = 153.4 \text{ Wh/día}$, Potencia consumida por día.

$\eta_{sist} = 0.90$, Rendimiento del sistema.



| | |
|--|---|
| $G_{CEM} = 1000.00 \text{ W/m}^2$, | Radiación media Diaria. |
| $F_m = 0.90$, | Factor de acoplo medio (Electrobomba y motorreductor). |
| $\delta: = 0.004 \text{ 1/}^\circ\text{C}$, | Coef. de Variación de la potencia con la temperatura. |
| $T_m = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, | Temperatura media diaria en el módulo. |
| $T_{CEM} = 25^\circ\text{C}$, | Temperatura base del Módulo. |
| $G_{dm} = 4530.00 \text{ wh/m}^2/\text{día}$, | Radiación media diaria en un mes dado (Radiación crítica) |
| $P_{pn} = 44.54 \text{ W}$, | Potencia pico necesaria |

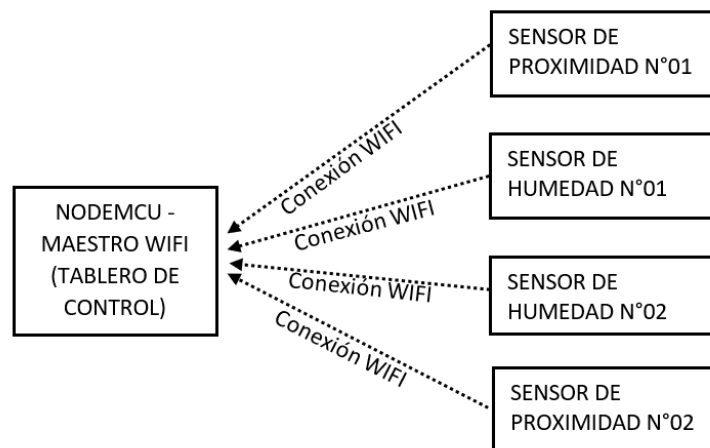
Por lo tanto, la potencia del módulo seleccionado de 50 W, es mayor que La potencia pico necesaria 44.54 calculada, se demuestra que la radiación en la región de Puno abastecerá al prototipo.

4.7. PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE ARDUINO CON MATERIALES UTILIZADOS.

4.7.1. NODEMCU - maestro WIFI

Es la programación del NodeMCU v2 ESP8266 WiFi, que es el controlador general que está montado en el tablero, en la figura N°139 del Anexo N°02 se muestran los códigos de programación.

Figura N°106: Esquema de funcionamiento del sistema de control.



Elaborado por el equipo de trabajo

4.7.2. Sensor de humedad higrómetro fc-28

Es un sensor que mide la humedad del suelo, fue utilizado en el proyecto de investigación con la finalidad de detectar la cantidad de humedad que hay en la tierra y así decidir si es necesario activar o desactivar el riego del prototipo.

Funcionamiento

En este paso se procedió con la conexión del sensor de humedad de suelo inalámbricamente wifi con el NODEMCU - MAESTRO WIFI, conociendo el funcionamiento del sensor de humedad, se programó usando como referencia porcentaje de humedad, si está sumergido en el agua un 100 % y si está en un suelo seco un 0%, en la figura N°140 del Anexo N°02 se muestran los códigos de programación.

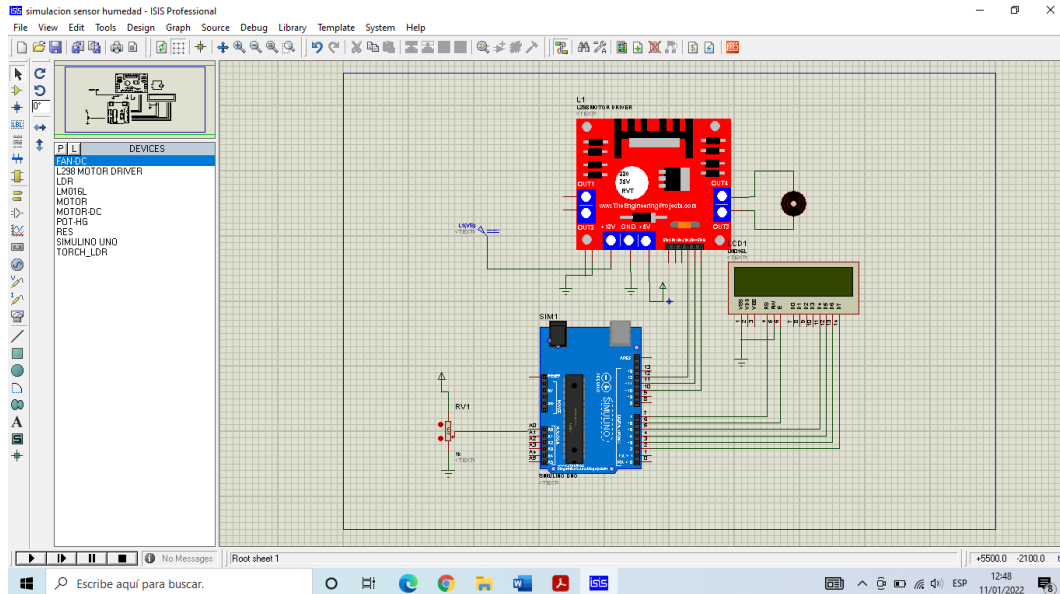
4.7.3. Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor ultrasónico HC-SR04, fue utilizado en el proyecto de investigación para controlar el giro del motorreductor de la ida y el regreso de la carreta de descarga, en la figura N°141 del Anexo N°02 se muestran los códigos de programación.

4.7.4. Simulación de la programación con PROTEUS

Para iniciar con la instalación del circuito electrónico, lo primero que se hizo una simulación de la programación del funcionamiento del prototipo de la siguiente manera, como se muestra en la figura:

Figura N°107: Vista de programación de Simulación de Automatización.



Elaborado por el equipo de trabajo

4.8. OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

4.8.1. Precauciones antes de puesta en marcha

- Verificar visualmente las condiciones del prototipo antes de encender la conexión la carga de batería.
- Verificar visualmente los circuitos de conexión en el tablero de control solo por personal autorizado.
- Verificar que siempre que todos los sensores estén conectados inalámbricamente con el controlador general.

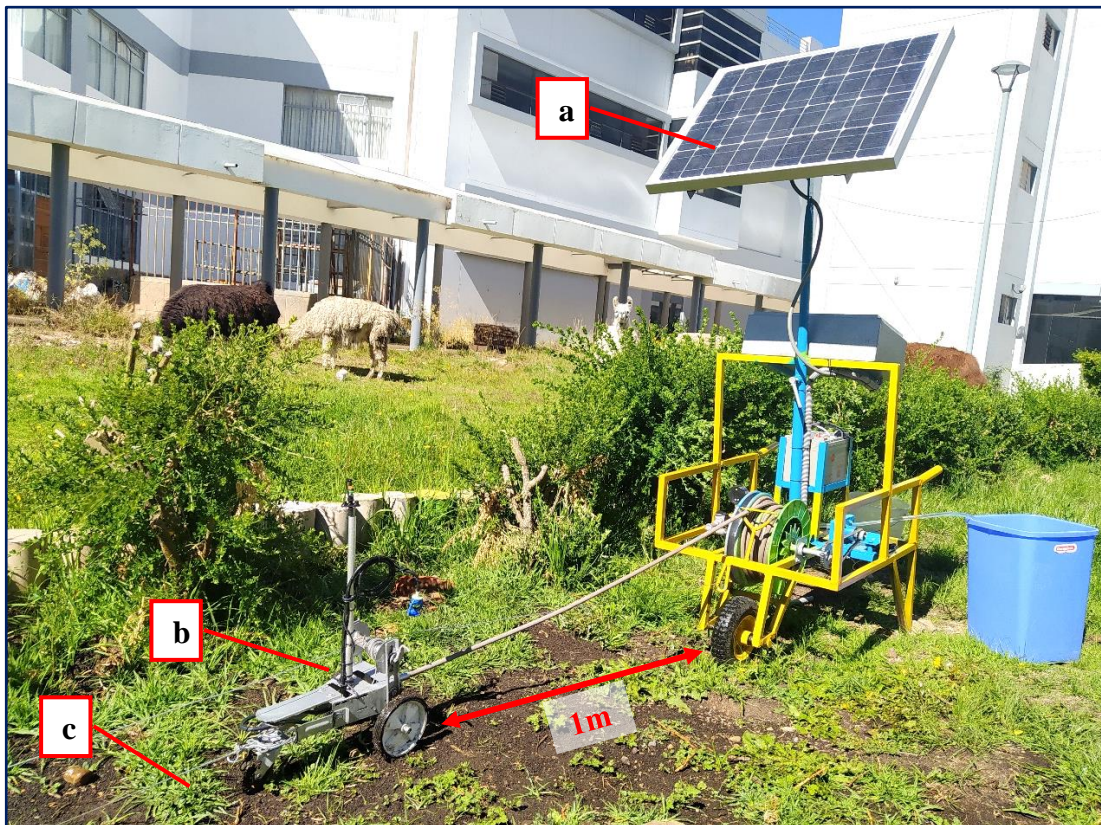
4.8.2. Procedimiento de operación del prototipo

En seguida se muestra y se detalla la secuencia de instalación y el funcionamiento del prototipo, que será de una manera sencilla que cualquier persona lo pueda manipular.

4.8.2.1. Instalación del prototipo

Una vez trasladado el prototipo al área del terreno de riego, se procede a instalar de la siguiente manera:

Figura N°108: Instalación de carretas.

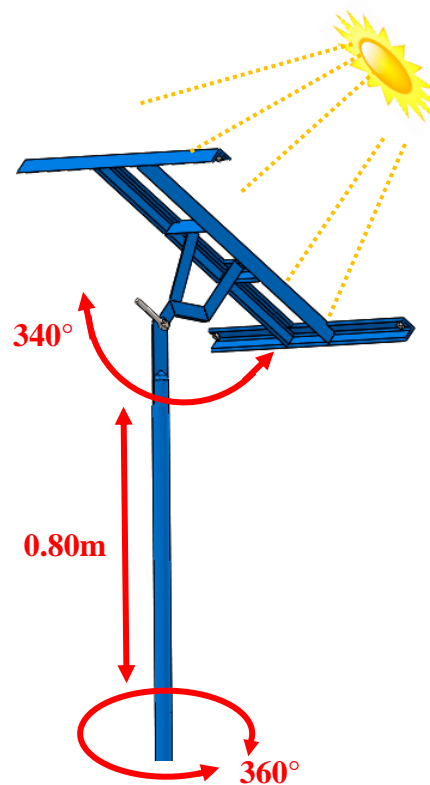


Elaborado por el equipo de trabajo

Donde:

- a. **Modulo del Panel:** En primer lugar, se tiene que orientar el panel solar con dirección al sol, por lo tanto, la estructura del panel es regulable de la siguiente manera:

Figura N°109: Detalles de estructura del módulo solar.



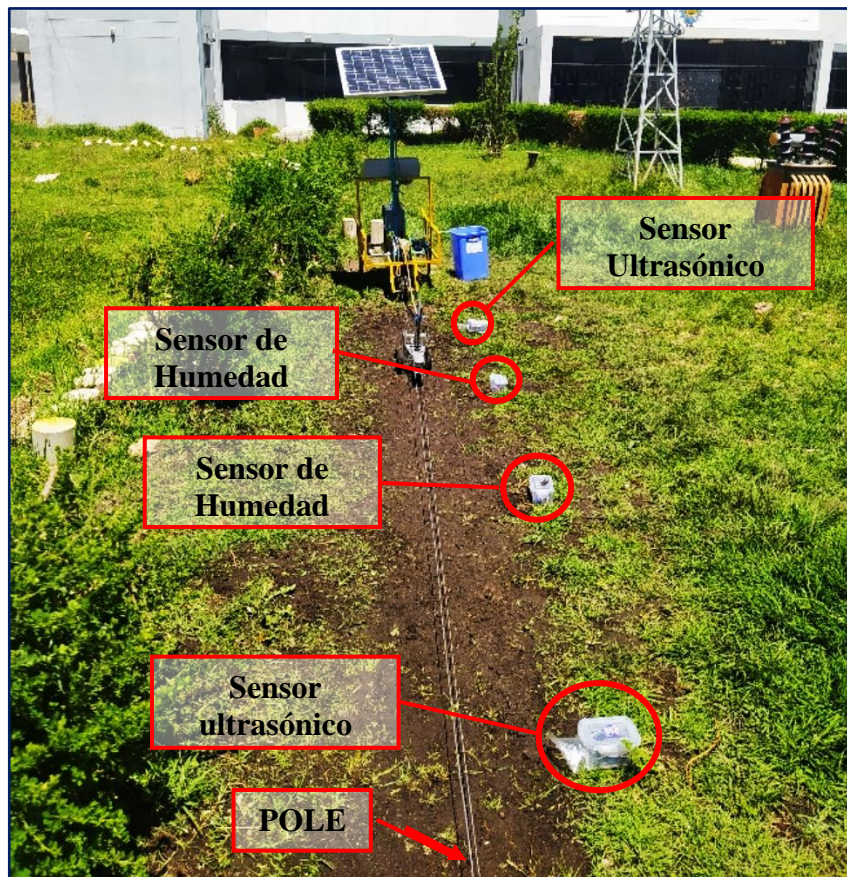
Elaborado por el equipo de trabajo

- b. **Carreta de descarga:** En seguida la carreta de descarga (aspersor), se instala a “1m” de la carreta de impulsión como se muestra en la imagen.
- c. **Cable de Acero:** Como se muestra en la imagen anterior el cable de acero será la guía de la carreta de descarga, que tendrá como función de jalador.

4.8.2.2. Instalación del sensor de humedad y sensor ultrasónico

Los sensores se instalan de la siguiente manera: los dos sensores de proximidad se ponen a los extremos del área del terreno para controlar el inicio y el fin del recorrido, también a los sensores de humedad se instalan a la zona crítica para así controlar la humedad.

Figura N°110: Instalación del sensor de humedad y sensor ultrasónico.

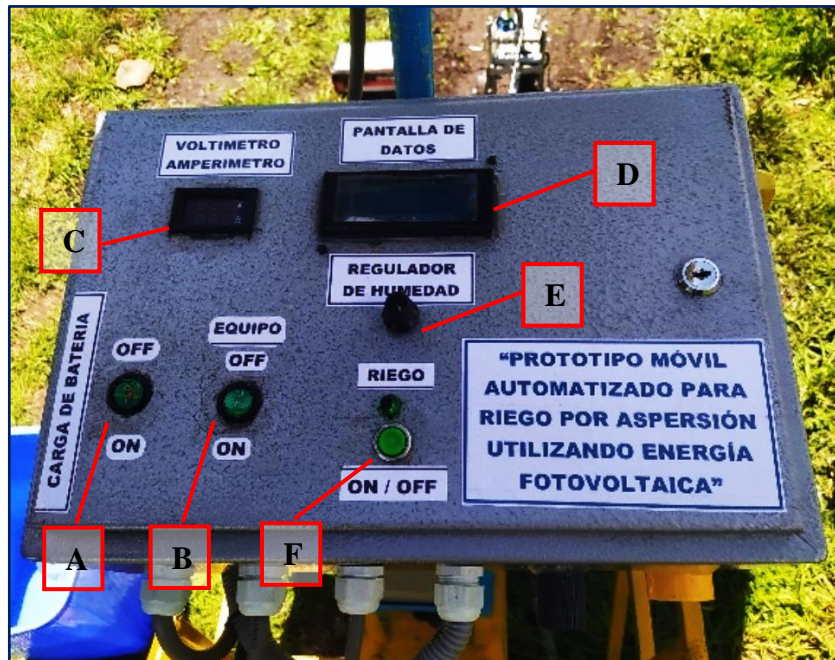


Elaborado por el equipo de trabajo

4.8.2.3. Encendido del sistema de control

Una vez instalado correctamente los equipos, se da inicio del encendido del sistema de la siguiente manera:

Figura N°111: Encendido del sistema de control.



Elaborado por el equipo de trabajo

- A. Carga de batería:** Es el interruptor que enciende la carga de batería con el panel fotovoltaico.
- B. Equipo:** Es el interruptor que enciende el sistema de control como al multímetro, la pantalla de datos, todo el tablero.
- C. Voltímetro y amperímetro:** Es el visor de datos del voltaje y la corriente de la carga total, se debe verificar antes de iniciar el riego

Figura N°112: Visor de datos de voltaje y corriente de funcionamiento.



Elaborado por el equipo de trabajo

D. Pantalla de datos: Es el visor de datos del “%” de humedad obtenidos por los sensores de humedad, el dato de la distancia “m” obtenidos por los sensores ultrasónico, como también se visualiza el promedio de humedad, también el dato de “%” de humedad que será programado, y los datos del flujómetro.

Figura N°113: Pantalla de visor de datos.



Elaborado por el equipo de trabajo

También los sensores de humedad y ultrasónico tienen la pantalla de visor de datos en el cual se debe verificar el estado de conexión inalámbrica con el controlador principal antes de dar inicio el riego.

Figura N°114: Pantalla de visor de datos de humedad y el estado de conexión inalámbrica.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°115: Pantalla de visor de datos de sensor ultrasónico y el estado de conexión inalámbrica.



Elaborado por el equipo de trabajo

- E. Regulador de humedad:** Es el potenciómetro que tiene función como regulador de humedad por el cual se regulará el “%” de la humedad requerida para el riego del terreno de diferentes cultivos.
- F. Riego:** Es el pulsador que tiene como función dar marcha el riego automático, esto se debe de pulsar después de seleccionar el porcentaje de humedad requerida, también tiene función de poner pausa cuando ocurra algún imperfecto.

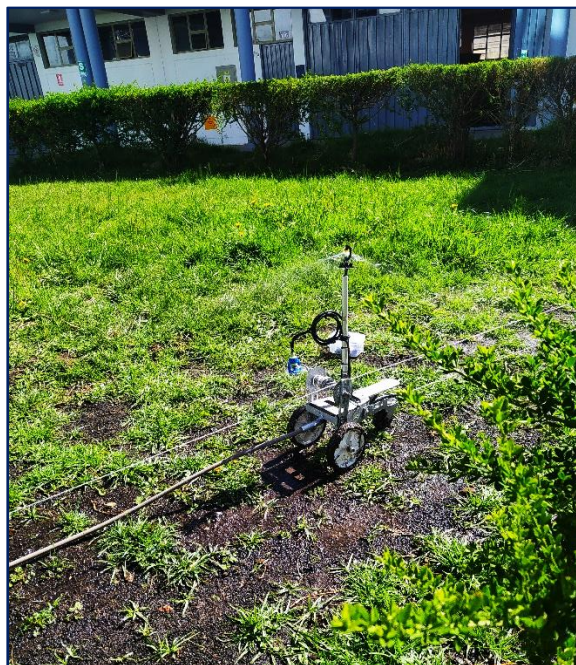
De esta manera se da el inicio de riego del prototipo:

Figura N°116: Inicio de riego.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°117: Riego de carreta de descarga (aspersores).



Elaborado por el equipo de trabajo

4.8.2.4. Apagado del sistema

Una vez obtenido la humedad requerida que es medido por los sensores de humedad, la electrobomba se apaga y el motorreductor enrolla a la manguera en la posición inicial, para ser guardado y recogido del área de riego del terreno.

Figura N°118: Fin del riego.



Elaborado por el equipo de trabajo

Al final se tiene poner en modo apagado todos los interruptores, para así realizar el recojo del prototipo y guardado, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura N°119: Guardado del prototipo.



Elaborado por el equipo de trabajo

4.8.3. Mantenimiento del prototipo

- El mantenimiento del sistema se realiza después de cada trabajo realizado revisado su estructura y el estado físico de la electrobomba, componentes y accesorios. También verificar que no haya fuga en los empates de las tuberías con los accesorios.
- En el mantenimiento del sistema eléctrico se debe realizar cada 5 meses, con la revisión de conexiones en el tablero, verificación de la fuente de alimentación fotovoltaica y también verificación de los sensores. Cualquier modificación en el circuito del tablero de control, se recurrirá a los esquemas de conexión que se muestran en el anexo.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: Se pudo evaluar que el recurso solar en la región de Puno, es adecuado para el funcionamiento del prototipo móvil y luego con los datos obtenidos se pudo dimensionar el módulo fotovoltaico.

SEGUNDO: Se diseñó y se elaboró el prototipo móvil de riego automático, utilizando diferentes softwares que fueron principales herramientas para realizar simulaciones y dimensionamiento de diferentes sistemas.

TERCERO: Se logró con éxito el monitoreo y control de la humedad del área de cultivo de manera inalámbrica wifi desde los sensores hacia el tablero de control, en donde se puede visualizar datos reales de los sensores, en lo cual se evitó utilizar cableados sobre el terreno de riego.

CUARTO: Se logró exitosamente el riego uniforme y un óptimo balance de humedad de suelo, utilizando dos micro aspersores móviles, también un uso eficiente del agua, la prueba se realizó en el jardín de la Escuela profesional de ingeniería Mecánica Eléctrica.

QUINTO: Este prototipo está diseñado para realizar el riego de los jardines y áreas pequeñas.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se recomienda investigar con más frecuencia este tipo de sistemas en grandes escalas, para mejorar la agricultura en nuestra región de Puno.

SEGUNDO: Se recomienda investigar y aplicar nuevas tecnologías de automatización, para mejorar el control y monitoreo en tiempo real, aplicando conexiones inalámbricas a mayores distancias.

TERCERO: Se recomienda investigar nuevas formas de sistemas de protección contra sobrecargas y cortos circuitos para los equipos eléctricos, equipos de control y automatización en DC.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Academia-Renovables. (2015). REGULADORES, INVERSORES Y BATERÍAS. 1–30.
- Accesorios Electronicos. (n.d.). Retrieved May 4, 2021, from <https://naylampmechatronics.com/expressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>
- AEMET, A. E. de M. (n.d.). LA RADIACIÓN SOLAR . Retrieved September 24, 2022, from http://www.aemet.es/documentos/es/el tiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf
- Alonso, D. (2010). EL RIEGO POR ASPERSION. 2010, 1–15.
- Aprendiendo Arduino. (2015). <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>
- Area-Tecnologia. (n.d.). CALCULO SECCION DE LOS CABLES. Retrieved July 18, 2021, from <https://www.areatecnologia.com/electricidad/secciones-de-cables.html>
- ATMOSFERA. (n.d.). Retrieved January 29, 2021, from <http://www.atmosfera.cl/HTML>
- Biologia de Suelos. (2020). Humedad de suelo. <https://biologiadesuelos-2014.wordpress.com/humedad-del-suelo/>
- Bragado, A. R. (2018). BOMBEOS III. CURVA RESISTENTE DEL SISTEMA. <https://www.tiloom.com/bombeos-iii-curva-resistente-del-sistema/>
- Briones, M. E., & Irigion, G. (2015). ZONIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) Y LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA EXPANSIÓN URBANA DEL ANEXO LUCMACUCHO ALTO - SECTOR LUCMACUCHO. <https://docplayer.es/83917515-Facultad-de-ingenieria.html>
- Cadenillas, F. H. (2013). PERDIDAS POR ACCESORIOS. <https://es.scribd.com/doc/268275216/Perdidas-Primarias-y-Secundarias>
- CATÁLOGO EQUIPO PARA CERCAS ELÉCTRICAS. (n.d.). Retrieved January 29, 2022, from <https://docplayer.es/196153577-Catalogo-equipo-para-cercas-electricas.html>
- CDT. (n.d.). Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos conectados a Red. Retrieved August 1, 2021, from https://www.cdt.cl/?post_type=dlm_download&p=76553
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S. C. . (n.d.). Retrieved June 21, 2021, from <http://solar.nmsu.edu>
- Choque-Arce, D., & Ramos-Huanacuni, W. M. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR MONITORIZADO PARA PRUEBAS DE PERFORMANCE EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME.



- Componentes Pasivos. (n.d.). Retrieved June 11, 2021, from <https://tostatronic.com/store/componentes-pasivos/832-capacitor-electrolitico-220uf-25v.html>
- Contreras, E. F., & Sanchez, R. R. (2010). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA ESCUELA DE POSTGRADO. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>
- Conversion de Energia. (n.d.). Retrieved June 29, 2021, from <http://www.empresaeiciente.com>
- Cooper, P. I. (1969). Angulo de declinación. <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/angulo-de-declinaci%C3%B3n>
- Crespo, E. (2018). Lenguaje de programación C++. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>
- definicion.de. (2008). BOMBA DE AGUA. <https://definicion.de/bomba-de-agua/>
- del Valle, H. L. (2019). NodeMCU. <https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/#:~:text=NodeMCU%20es%20una%20placa%20de,microcontrolador%20con%20placa%20de%20desarrollo.>
- EN LOS SISTEMAS DE CONTROL MANUAL LA INFORMACIÓN PARA REALIZAR EL CONTROL PROVIENE DE LOS SENTIDOS. (n.d.). Retrieved May 12, 2021, from <https://sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/control-manual>
- Energia Solar. (n.d.). Retrieved May 19, 2021, from <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>
- Estabilizadores de Tension. (n.d.). Retrieved May 9, 2021, from <https://www.electrontools.com/Home/WP/regulador-de-voltaje-7805/>
- FAO, O. chart. (2021). CLIMWAT. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>
- Hidroponia, m. x. (2015). ¿QUÉ ES EL RIEGO TECNIFICADO? <http://hidroponia.mx/que-es-el-riego-tecnificado/>
- <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/40180/NR26419.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (n.d.).
- Hubor-Proteus. (n.d.). Proteus. Retrieved September 10, 2021, from <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>
- IMFIA. (2009). Maquinas para fluidos I.
- Ingenieria de mantenimiento. (2014). Diagnostico del Incorrecto Caudal de Bombas Centrifugas en Sector Petroleo.
- ingenieria-mecanica. (2020). CALCULO DE INSTALACIONES DE BOMBEO DE AGUA. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html>



- Llantas, E. J. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN AUTOMATIZADO DE 22 m³/h PARA AHORRAR CONSUMO DE AGUA EN EL PARQUE DE AVENIDA SEPARADORA INDUSTRIAL – VITARTE.
- Manual de instalación de un sistema fotovoltaico domiciliario. (n.d.). Retrieved June 24, 2021, from <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/11163/Manual%20de%20instalacion%20sistemas%20fotovoltaicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MICROASPERSORES. (2015). <https://www.riego.pe/microaspersores/>
- mott, P. E. R. L. (2006). Diseño de Elementos de Máquinas.
- ODETTO, AR. (2008). CADENAS DE TRANSMISION. 1–15.
- Panel Fotovoltaico. (n.d.). Retrieved January 29, 2021, from <http://www.ujaen.es>.
- Perpiñan, O. (2020). ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica (Creative commons, Ed.; 9th ed.).
- Plagron. (2011). Control de humedad para plantas que crecen en interiores. <https://www.plagron.com/es/temas/humedad#:~:text=Las%20plantas%20crecen%20bien%20s%C3%B3lo,aparici%C3%B3n%20de%20moho%20y%20hongos.>
- Portal-Electromecanico. (n.d.). Bomba hidráulicas. Retrieved January 18, 2021, from https://portalelectromecanico.com/CURSOS/MaquinasMecanicas/tipos_de_bombas_hidraulicas.html
- PROCOBRE. (2013). CONDUCTORES ELÉCTRICOS. 1–21. <http://www.businessempresarial.com.pe/e/procobre-peru/>
- PROMART. (n.d.). Catalogo de los Productos. Retrieved March 11, 2021, from <https://www.promart.pe/juego-de-acoples-rapidos-para-compresora-x-4-piezas/p>
- Rodrigo. (n.d.). Sistema electrónico de control basado en Arduino. Retrieved January 16, 2021, from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/101248/IRIGOYEN%20-%20Internet%20de%20las%20cosas.%20Sistema%20electr%C3%B3nico%20de%20control%20basado%20en%20Arduino.pdf?sequence=1>
- Sosa-Cutipa, E. D. (2017). DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBA SOLAR UTILIZANDO BOMBA SUMERGIBLE HIBRIDO CON VARIADOR DE VELOCIDAD PARA LA COMUNIDAD QUENAFAJA DEL DISTRITO DE ACORA PROVINCIA DE PUNO.
- Soto. (n.d.). sistema de energía fotovoltaica. Retrieved June 29, 2021, from <http://www.ujaen.es/>
- STYLE, O. (n.d.). Energía solar autónoma.
- Transmisiones industriales. (n.d.). Retrieved February 20, 2021, from <https://www.ajtransmisiones.com/blog/tipos-de-sistema-de-transmision>
- Valentin, J. L. (2018). Instalaciones solares fotovoltaicas. (n.d.). Retrieved January 29, 2021, from <https://www.terramarket.cl/insumos-agricolas/water-retainer-ahorre-agua-de-riego-y-energia-hasta-en-un-50-400.html>

ANEXOS

ANEXO N°01: IMÁGENES

Figura N°120: Prueba de presión y caudal de la electrobomba.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°121: Proceso de elaboración.



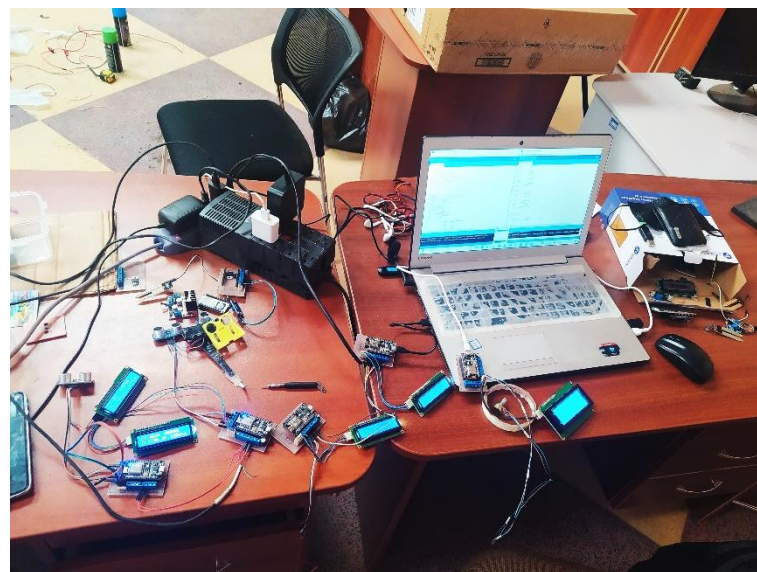
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°122: Prueba inicial.



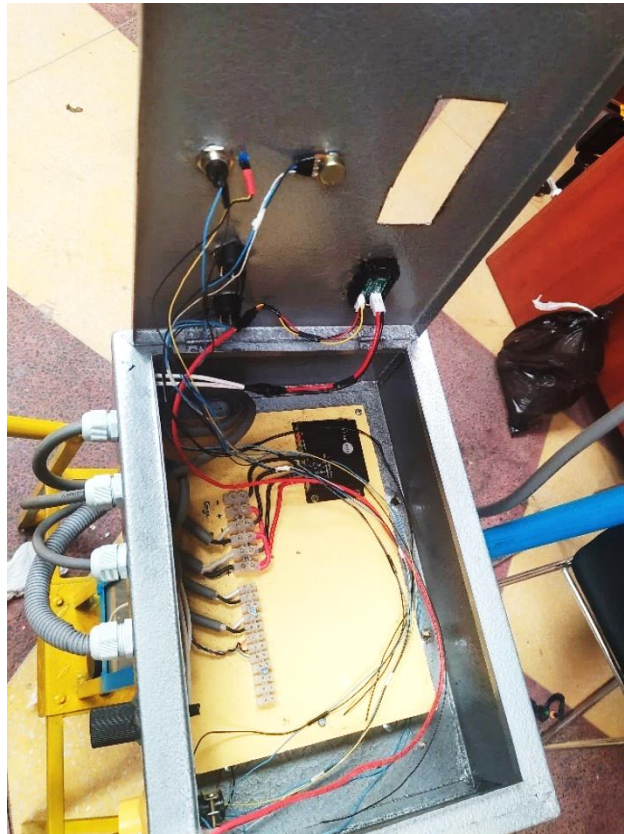
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°123: Programación general.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°124: Proceso de cableado del Prototipo.



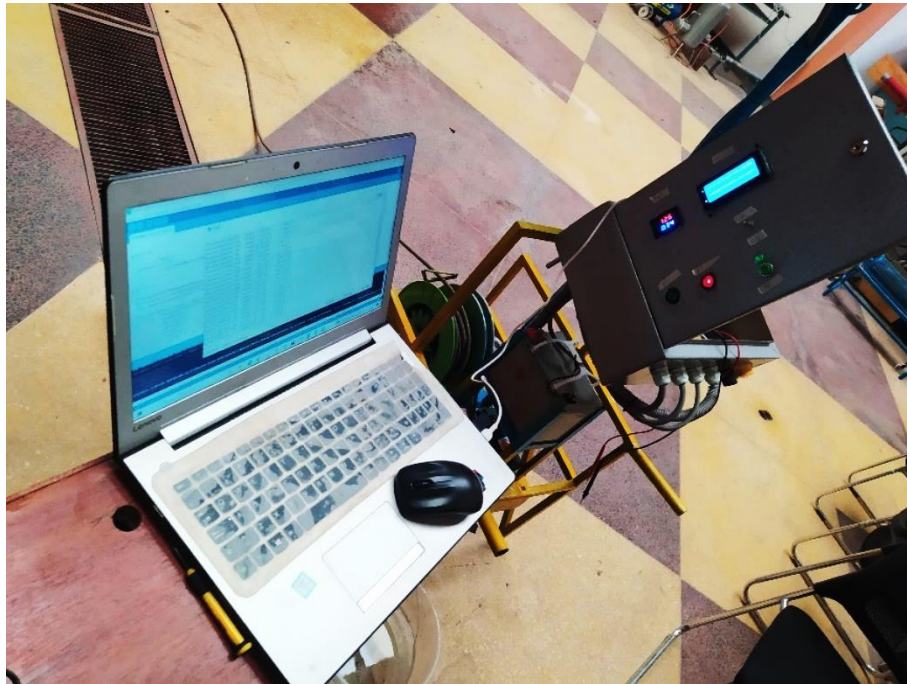
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°125: Prueba de datos de humedad con sensores inalámbricos.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°126: Transferencia de datos previa programación.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°127: Prueba final de riego.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°128: Prueba Final de aspersores, sensores de humedad y sensores de proximidad.



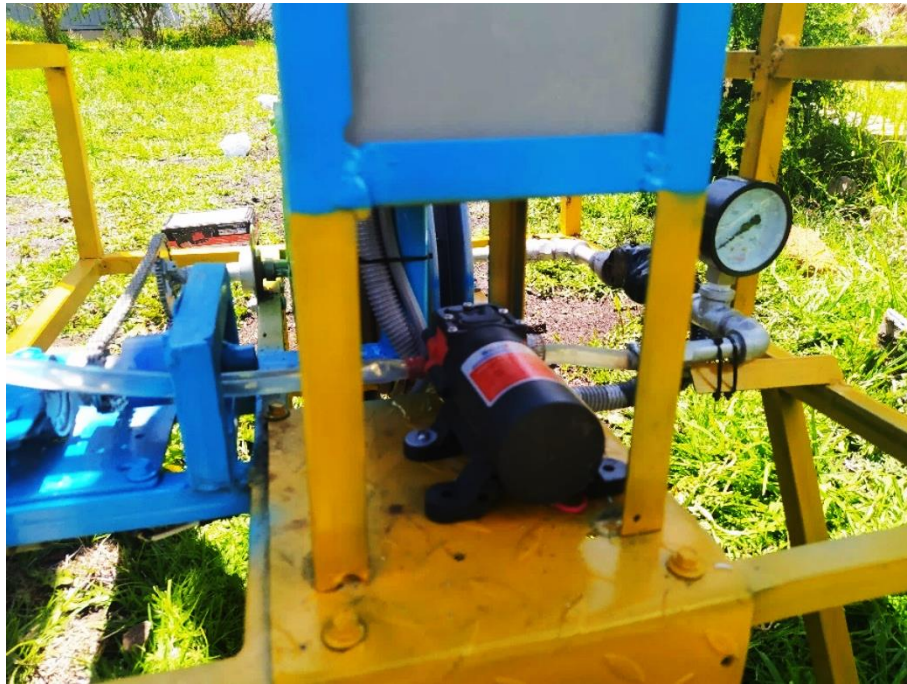
Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°129: Tablero de control.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°130: Montaje de la electrobomba.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°131: Línea hidráulica.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°132: Montaje del sistema de transmisión mecánica.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°133: Montaje de carretes de manguera y cable de acero.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°134: Montaje del módulo fotovoltaico.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°135: Montaje de Batería.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°136: Instalación de polea.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°137: Proceso de traslado y guardado del prototipo.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°138: Sensores de humedad y sensores Ultrasónicos.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°139: Proceso de prueba del prototipo en el parque de la EPIME.



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°140: Imágenes del prototipo móvil automatizado con los ejecutores



Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO N°02: CODIGOS DE PROGRAMACION

Figura N°141: Código de programación maestro Wifi.

```
MAESTRO_WIFI Arduino 1.8.18
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

MAESTRO_WIFI

*/
#define ESP8266
#ifndef ESP8266
#include <ESP8266WiFi.h>
#else
#include <WiFi.h>
#endif
#include <ModbusIP_ESP8266.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

const char* ssid = "EDUARDO_AP";
const char* password = "EDU12345";

IPAddress ip(192, 168, 4, 100); //IP maestro o esclavo depeidiendo de la aplicacion
IPAddress gateway(192, 168, 4, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);

const int REG = 1; // Modbus Hreg Offset
IPAddress remote_1(192, 168, 4, 20); // Address of Modbus Slave device
IPAddress remote_2(192, 168, 4, 21); // Address of Modbus Slave device
IPAddress remote_3(192, 168, 4, 22); // Address of Modbus Slave device
IPAddress remote_4(192, 168, 4, 23); // Address of Modbus Slave device

IPAddress remote_10(192, 168, 4, 30); // Address of Modbus Slave device
IPAddress remote_11(192, 168, 4, 31); // Address of Modbus Slave device

const int LOOP_COUNT = 10;

ModbusIP mb; //ModbusIP object

long T_FLUJO;
long T_LCD;
int SENSOR;
int SET_HUM;

volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos
int PinSensor = 12; //Sensor conectado en el pin 2//NODE 12
float factor_conversion = 7.5; //para convertir de frecuencia a caudal
float FRECUENCIA;
float CAUDAL_L_M;
int CAUDAL_L_M_INT;
float CAUDAL_L_H;
long t_transcurrido;
//---Función que se ejecuta en interrupción-----
void ContarPulsos ()
{
  NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}
```



```
//PINES PARA L298 MOTOR
int ENA ;
int IN1 = D4;
int IN2 = D5;
int BOMBA = D6;
int PULSADOR = D7;

int INICIO;
int RIEGO_ON = 0;
int INICIO_RIEGO = 0;
int RETORNO_INICIO = 0;

int TCP_1_OK = 0;
int TCP_2_OK = 0;
int TCP_3_OK = 0;
int TCP_10_OK = 0;
int TCP_11_OK = 0;
int TCP_OK = 0;

void setup() {
// pinMode(D3, OUTPUT);
pinMode(D4, OUTPUT);
pinMode(D5, OUTPUT);
pinMode(D6, OUTPUT);
pinMode(D7, INPUT);
```

```
#ifdef ESP8266
Serial.begin(74880);
#else
Serial.begin(115200);
#endif
//WIFI COMO ESTACION
// WiFi.begin("EDUARDO_AP", "EDU12345");
//WiFi.mode(WIFI_STA);
//WIFI COMO AP
WiFi.mode(WIFI_AP);
// WiFi.config(ip, gateway, subnet);
WiFi.softAP(ssid,password);

// while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
//   delay(500);
//   Serial.print(".");
// }
attachInterrupt(D3, ContarPulsos, RISING); //(Interrupcion 0(Pin2),funcion,Flanco de subida)

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
```

```
WiFi.printDiag(Serial);
Serial.print("AP direccion IP: ");
Serial.println(WiFi.softAPIP());

mb.master();

T_FLUJO = millis();
T_LCD = millis();
lcd.init();
lcd.backlight();
digitalWrite(BOMBA, HIGH);
// interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
}

uint16_t HUM_1 = 0;
uint16_t HUM_2 = 0;
uint16_t HUM_3 = 0;
uint16_t HUM_PROM = 0;
uint16_t DIST_1 = 0;
uint16_t DIST_2 = 0;
uint16_t FLUJ_1 = 0;

uint8_t show = LOOP_COUNT;

void loop() {
//
```




```
if (millis() > T_LCD + 2000) {  
    lcd.clear();  
    lcd_visual();  
    T_LCD = millis();  
}  
  
lectura_control();  
lee_sensor();  
lee_flujo();  
control_driver_motor();  
lee_tcp_connect();  
mb.task(); // Common local Modbus task  
  
delay(100); // Pulling interval  
if (!show--) { // Display Slave register value one time per second (with default settings)  
    Serial.println("REGISTROS HUMEDAD");  
    Serial.println(HUM_1);  
    Serial.println(HUM_2);  
    Serial.println(HUM_3);  
    Serial.println(DIST_1);  
    Serial.println(DIST_2);  
    show = LOOP_COUNT;  
}  
}
```

```
void lcd_visual()  
{  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("H_1:");  
    lcd.setCursor(4,0);  
    lcd.print(HUM_1);  
    lcd.setCursor(7,0);  
    lcd.print("%");  
  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("H_2:");  
    lcd.setCursor(4,1);  
    lcd.print(HUM_2);  
    lcd.setCursor(7,1);  
    lcd.print("%");  
  
    lcd.setCursor(0,2);  
    lcd.print("H_3:");  
    lcd.setCursor(4,2);  
    lcd.print(HUM_3);  
    lcd.setCursor(7,2);  
    lcd.print("%");  
}
```

```
    lcd.setCursor(0,3);  
    lcd.print("PRO:");  
    lcd.setCursor(4,3);  
    lcd.print(HUM_PROM);  
    lcd.setCursor(7,3);  
    lcd.print("%");  
  
    lcd.setCursor(11,0);  
    lcd.print("DA:");  
    lcd.setCursor(14,0);  
    lcd.print(DIST_1);  
    lcd.setCursor(18,0);  
    lcd.print("cm");  
  
    lcd.setCursor(11,1);  
    lcd.print("DB:");  
    lcd.setCursor(14,1);  
    lcd.print(DIST_2);  
    lcd.setCursor(18,1);  
    lcd.print("cm");  
  
    lcd.setCursor(11,2);  
    lcd.print("F_1:");  
    lcd.setCursor(15,2);  
    lcd.print(FLUJ_1);  
    lcd.setCursor(18,2);  
    lcd.print("LM");
```




```
lcd.setCursor(11,3);  
lcd.print("SET:");  
lcd.setCursor(15,3);  
lcd.print(SET_HUM);  
lcd.setCursor(18,3);  
lcd.print("%");  
}  
void lee_sensor()  
{  
  SENSOR = analogRead(A0);  
  SET_HUM = map(SENSOR, 0,1024, 100,0);  
}  
  
void lectura_control()  
{  
  HUM_PROM = (HUM_1 + HUM_2)/2;  
  INICIO = digitalRead(PULSADOR);  
  if (INICIO == LOW && RIEGO_ON == 0) {  
    // if (INICIO == HIGH) {  
      RIEGO_ON = 1;  
      digitalWrite(BOMBA, LOW);  
      digitalWrite(ENA, HIGH); //ALEJAMIENTO ASPERSORES  
      digitalWrite(IN1, LOW ); //ALEJAMIENTO ASPERSORES  
      digitalWrite(IN2, HIGH); //ALEJAMIENTO ASPERSORES  
      Serial.println("RIEGO ON");  
      delay(500);  
    }  
  }  
}
```

```
  // }  
}  
INICIO = digitalRead(PULSADOR);  
if (INICIO == LOW && RIEGO_ON == 1) {  
  // if (INICIO == HIGH) {  
    RIEGO_ON = 0;  
    digitalWrite(BOMBA, HIGH);  
    digitalWrite(ENA, LOW );  
    digitalWrite(IN1, LOW );  
    digitalWrite(IN2, LOW );  
    Serial.println("RIEGO OFF");  
    delay(500);  
  }  
}  
//control de rigo por setpoint  
if ( HUM_PROM <= SET_HUM && RIEGO_ON == 1) {  
  INICIO_RIEGO = 1;  
  RETORNO_INICIO = 0;  
  Serial.println("INICIO RIEGO");  
}  
if ( HUM_PROM > SET_HUM && RIEGO_ON == 1) {  
  RETORNO_INICIO = 1;  
  digitalWrite(BOMBA, HIGH);  
  digitalWrite(ENA, HIGH); //RETORNO ASPERSORES  
  digitalWrite(IN1, HIGH); //RETORNO ASPERSORES  
  digitalWrite(IN2, LOW); //RETORNO ASPERSORES  
  Serial.println("SEIPOINT LOGRADO");  
}
```

```
  if (DIST_2<30 && TCP_OK == 255 && RIEGO_ON ==1 && RETORNO_INICIO == 1) { //CONDICION PARA APAGA ASPERSORES :  
    digitalWrite(ENA, LOW); //APAGADO ASPERSORES  
    digitalWrite(IN1, LOW); //APAGADO ASPERSORES  
    digitalWrite(IN2, LOW); //APAGADO ASPERSORES  
    RIEGO_ON = 0;  
    INICIO_RIEGO = 0;  
    Serial.println("POSICION INICIAL");  
  }  
}  
  
void lee_flujo()  
{  
  if (millis() > T_FLUJO + 1000) {  
    t_transcurrido = (millis() - T_FLUJO) / 1000;  
    FRECUENCIA = NumPulsos / t_transcurrido; //Hz(pulsos por segundo)  
    CAUDAL_L_M = FRECUENCIA / factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m  
    CAUDAL_L_H = CAUDAL_L_M * 60; //calculamos el caudal en L/h  
    FLUJ_l = CAUDAL_L_M;  
    NumPulsos = 0;  
    T_FLUJO = millis();  
  }  
}  
void control_driver_motor()  
{
```



```
if (DIST_1<30 && TCP_OK == 255 && RIEGO_ON ==1 && INICIO_RIEGO == 1 && RETORNO_INICIO == 0) { //CONDICION PARA A1
digitalWrite(ENA, HIGH); //ALEJAMIENTO ASPERSORES
digitalWrite(IN1, HIGH); //ALEJAMIENTO ASPERSORES
digitalWrite(IN2, LOW ); //ALEJAMIENTO ASPERSORES
Serial.println("ALEJANDO");
}
if (DIST_2<30 && TCP_OK == 255 && RIEGO_ON ==1 && INICIO_RIEGO == 1 && RETORNO_INICIO == 0) { //CONDICION PARA 2
digitalWrite(ENA, HIGH); //ACERCAMIENTO ASPERSORES
digitalWrite(IN1, LOW ); //ACERCAMIENTO ASPERSORES
digitalWrite(IN2, HIGH); //ACERCAMIENTO ASPERSORES
Serial.println("ACERCANDO");
}
}

void lee_tcp_connect()
{
mb.connect(remote_1); // Try to connect if no connection
if (mb.isConnected(remote_1)) { // Check if connection to Modbus Slave is established
mb.readHreg(remote_1, REG, &HUM_1); // Initiate Read Coil from Modbus Slave
TCP_1_OK = 255;
} else {
HUM_1 = 0;
TCP_1_OK = 0;
// mb.connect(remote_1); // Try to connect if no connection
}

mb.connect(remote_2); // Try to connect if no connection
if (mb.isConnected(remote_2)) { // Check if connection to Modbus Slave is established
mb.readHreg(remote_2, REG, &HUM_2); // Initiate Read Coil from Modbus Slave
TCP_2_OK = 255;
} else {
HUM_2 = 0;
TCP_2_OK = 0;
// mb.connect(remote_2); // Try to connect if no connection
}

/* if (mb.isConnected(remote_3)) { // Check if connection to Modbus Slave is established
mb.readHreg(remote_3, REG, &HUM_3); // Initiate Read Coil from Modbus Slave
TCP_3_OK = 255;
} else {
HUM_3 = 0;
TCP_11_OK = 255;
//mb.connect(remote_3); // Try to connect if no connection
}*/
mb.connect(remote_10); // Try to connect if no connection
if (mb.isConnected(remote_10)) { // Check if connection to Modbus Slave is established
mb.readHreg(remote_10, REG, &DIST_1); // Initiate Read Coil from Modbus Slave
TCP_10_OK = 255;
} else {
DIST_1 = 0;
TCP_10_OK = 0;
// mb.connect(remote_10); // Try to connect if no connection
}

mb.connect(remote_11); // Try to connect if no connection
if (mb.isConnected(remote_11)) { // Check if connection to Modbus Slave is established
mb.readHreg(remote_11, REG, &DIST_2); // Initiate Read Coil from Modbus Slave
TCP_11_OK = 255;
} else {
DIST_2 = 0;
TCP_11_OK = 0;
// mb.connect(remote_11); // Try to connect if no connection
}

if (TCP_1_OK == 255 && TCP_2_OK == 255 && TCP_10_OK == 255 && TCP_11_OK == 255) {
TCP_OK = 255;
} else {
TCP_OK = 0;
digitalWrite(ENA, LOW );
digitalWrite(IN1, LOW );
digitalWrite(IN2, LOW );
}
}
```

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°142: Código de programación sensor de humedad.

```
SENSOR_HUMEDAD Arduino 1.8.18
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SENSOR_HUMEDAD

#define ESP8266
#ifndef ESP8266
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266mDNS.h> //NECESARIO PARA OTA
#include <WiFiUdp.h> //NECESARIO PARA OTA
#include <ArduinoOTA.h> //NECESARIO PARA OTA

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

#else //ESP32
#include <WiFi.h>
#endif
#include <ModbusIP_ESP8266.h> //NECESARIO PARA MODBUS TCP SLV
const char* ssid = "EDUARDO_AP";
const char* password = "EDU12345";
#define LEN 5 //CANTIDAD DE HOLDING REGISTER A CREAR
long ts;
int ciclico =0;
int PRUEBA;
int SENSOR;
int SENSOR_PVE;

//ModbusIP object
ModbusIP mb;
//IPAddress ip(192, 168, 43, 10); //IP maestro o esclavo depediendo de la aplicacion
//IPAddress ip(192, 168, 43, 11); //IP maestro o esclavo depediendo de la aplicacion
IPAddress ip(192, 168, 4, 21); //IP maestro o esclavo depediendo de la aplicacion
IPAddress gateway(192, 168, 4, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);

// Callback function to read corresponding DI
uint16_t cbRead(TRegister* reg, uint16_t val) {
  Serial.print("Read. Reg RAW#: ");
  Serial.print(reg->address.address);
  Serial.print(" Old: ");
  Serial.print(reg->value);
  Serial.print(" New: ");
  Serial.println(val);
  return val;
}

// Callback function to write-protect DI
uint16_t cbWrite(TRegister* reg, uint16_t val) {
  Serial.print("Write. Reg RAW#: ");
  Serial.print(reg->address.address);
  Serial.print(" Old: ");
  Serial.print(reg->value);
  Serial.print(" New: ");
  Serial.println(val);
  return val;
}

// Callback function for client connect. Returns true to allow connection.
bool cbConn(IPAddress ip) {
  Serial.println(ip);
  return true;
}

void setup() {
  Serial.begin(9600, SERIAL_8N1); // (9600, SERIAL_8N1); Acá se define la paridad: 8bits, odd parity, 1 bit de parac
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.config(ip, gateway, subnet);
  WiFi.begin(ssid, password);

  // while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  //   delay(500);
  //   Serial.print(".");
  // }
```



```
// }

ArduinoOTA.setPassword((const char *)"1234");//Clave para acceso reprogramación
ArduinoOTA.begin();

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.print("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

mb.onConnect(cbConn); // Add callback on connection event
mb.slave();

if (!mb.addHreg(0, 0x0, LEN)) Serial.println("Error"); // Add Hregs
//mb.onGetHreg(0, cbRead, LEN); // Add callback on Coils value get
//mb.onSetHreg(0, cbWrite, LEN);

mb.Hreg(0,255);
mb.Hreg(1,478);
mb.Hreg(2,99);
mb.Hreg(3,-15);
mb.Hreg(4,0);

ts = millis();

lcd.init();
lcd.backlight();
```

```
}

void loop() {
  ArduinoOTA.handle();
  lee_sensor();
  if(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print("FALLO");
  }
  if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print("NORMAL");
  }
  //Call once inside loop() - all magic here
  mb.task();
  delay(100);

  //leer cada ts segundos
  if (millis() > ts + 1000) {
    lcd.clear();
    lcd_visual();
    PRUEBA = PRUEBA+1;
    mb.Hreg(0, (PRUEBA+1));
    mb.Hreg(1, (SENSOR_PJE));
    mb.Hreg(2, (SENSOR));
    mb.Hreg(3, (PRUEBA+5));
  }
}
```

```
// Serial.println("MODBUS-TCP VARIABLES");
// Serial.println(mb.Hreg(0));
// Serial.println(mb.Hreg(1));
// Serial.println(mb.Hreg(2));
// Serial.println(mb.Hreg(3));
ts = millis();
}
}

void lcd_visual()
{
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("SENSOR_A:");
  lcd.setCursor(10,1);
  lcd.print(SENSOR_PJE);
  lcd.setCursor(13,1);
  lcd.print("%");

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("ESTADO:");
}

void lee_sensor()
{
  SENSOR = analogRead(A0);
  SENSOR_PJE = map(SENSOR, 0,1024, 150,0);
}
}
```

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura N°143: Código de programación sensor ultrasónico.

```
SENSOR_DISTANCIA Arduino 1.8.18
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SENSOR_DISTANCIA

#define ESP8266
#ifndef ESP8266
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266DNS.h> //NECESARIO PARA OTA
#include <WiFiUdp.h> //NECESARIO PARA OTA
#include <ArduinoOTA.h> //NECESARIO PARA OTA

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

#else //ESP32
#include <WiFi.h>
#endif
#include <ModbusIP_ESP8266.h> //NECESARIO PARA MODBUS TCP SLV
const char* ssid = "EDUARDO_AP";
const char* password = "EDU12345";
#define LEN 5 //CANTIDAD DE HOLDING REGISTER A CREAR
long ts;
long T_DIST;
int ciclico =0;
int PRUEBA;
int SENSOR;
int SENSOR_PJE;

const int trigPin = 2; //D4
const int echoPin = 0; //D3
// defines variables
float DURACION;
float DISTANCIA;
int DISTANCIA_INT;

//ModbusIP object
ModbusIP mb;
//IPAddress ip(192, 168, 43, 10); //IP maestro o esclavo depediendo de la aplicacion
//IPAddress ip(192, 168, 43, 11); //IP maestro o esclavo depediendo de la aplicacion
IPAddress ip(192, 168, 4, 31); //IP maestro o esclavo depediendo de la aplicacion
IPAddress gateway(192, 168, 4, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);

// Callback function to read corresponding DI
uint16_t cbRead(TRegister* reg, uint16_t val) {
  Serial.print("Read. Reg RAW#: ");
  Serial.print(reg->address.address);
  Serial.print(" Old: ");
  Serial.print(reg->value);
  Serial.print(" New: ");
  Serial.println(val);
  return val;
}
```



```
// Callback function to write-protect DI
uint16_t cbWrite(TRegister* reg, uint16_t val) {
    Serial.print("Write. Reg RAW#: ");
    Serial.print(reg->address.address);
    Serial.print(" Old: ");
    Serial.print(reg->value);
    Serial.print(" New: ");
    Serial.println(val);
    return val;
}

// Callback function for client connect. Returns true to allow connection.
bool cbConn(IPAddress ip) {
    Serial.println(ip);
    return true;
}

void setup() {
    Serial.begin(9600, SERIAL_8N1); // (9600, SERIAL_8N1); Acá se define la paridad: 8bits, odd parity, 1 bit de parada
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.config(ip, gateway, subnet);
    WiFi.begin(ssid, password);

    // while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    //     delay(500);
    //     Serial.print(".");
    // }

    pinMode(trigPin, OUTPUT); // Sets the trigPin as an Output
    pinMode(echoPin, INPUT); // Sets the echoPin as an Input
    Serial.begin(9600); // Starts the serial communication

    ArduinoOTA.setPassword((const char *)"1234"); // Clave para acceso reprogramación
    ArduinoOTA.begin();

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.print("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    mb.onConnect(cbConn); // Add callback on connection event
    mb.slave();

    if (!mb.addHreg(0, 0x0, LEN)) Serial.println("Error"); // Add Hregs
    // mb.onGetHreg(0, cbRead, LEN); // Add callback on Coils value get
    // mb.onSetHreg(0, cbWrite, LEN);

    mb.Hreg(0, 255);
    mb.Hreg(1, 478);
    mb.Hreg(2, 99);
    mb.Hreg(3, -15);
    mb.Hreg(4, 0);

    ts = millis();
    T_DIST = millis();

    lcd.init();
    lcd.backlight();
}

void loop() {
    ArduinoOTA.handle();
    lee_sensor();
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        lcd.setCursor(8, 0);
        lcd.print("FALLO");
    }
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        lcd.setCursor(8, 0);
        lcd.print("NORMAL");
    }
    // Call once inside loop() - all magic here
    mb.task();
    // delay (100);
}
```



```
//leer cada ts segundos
if (millis() > ts + 1000) {
  lcd.clear();
  lcd_visual();
  PRUEBA = PRUEBA+1;
  mb.Hreg(0, (PRUEBA+1));
  mb.Hreg(1, (DISTANCIA_INT));
  mb.Hreg(2, (SENSOR));
  mb.Hreg(3, (PRUEBA+5));

  //      Serial.println("MODBUS-TCP VARIABLES");
  //      Serial.println(mb.Hreg(0));
  //      Serial.println(mb.Hreg(1));
  //      Serial.println(mb.Hreg(2));
  //      Serial.println(mb.Hreg(3));
  ts = millis();
}
}
void lcd_visual()
{
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("DISTAN_B:");
  lcd.setCursor(10,1);
  lcd.print(DISTANCIA_INT);
  lcd.setCursor(14,1);
  lcd.print("cm");
}

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("ESTADO:");
}

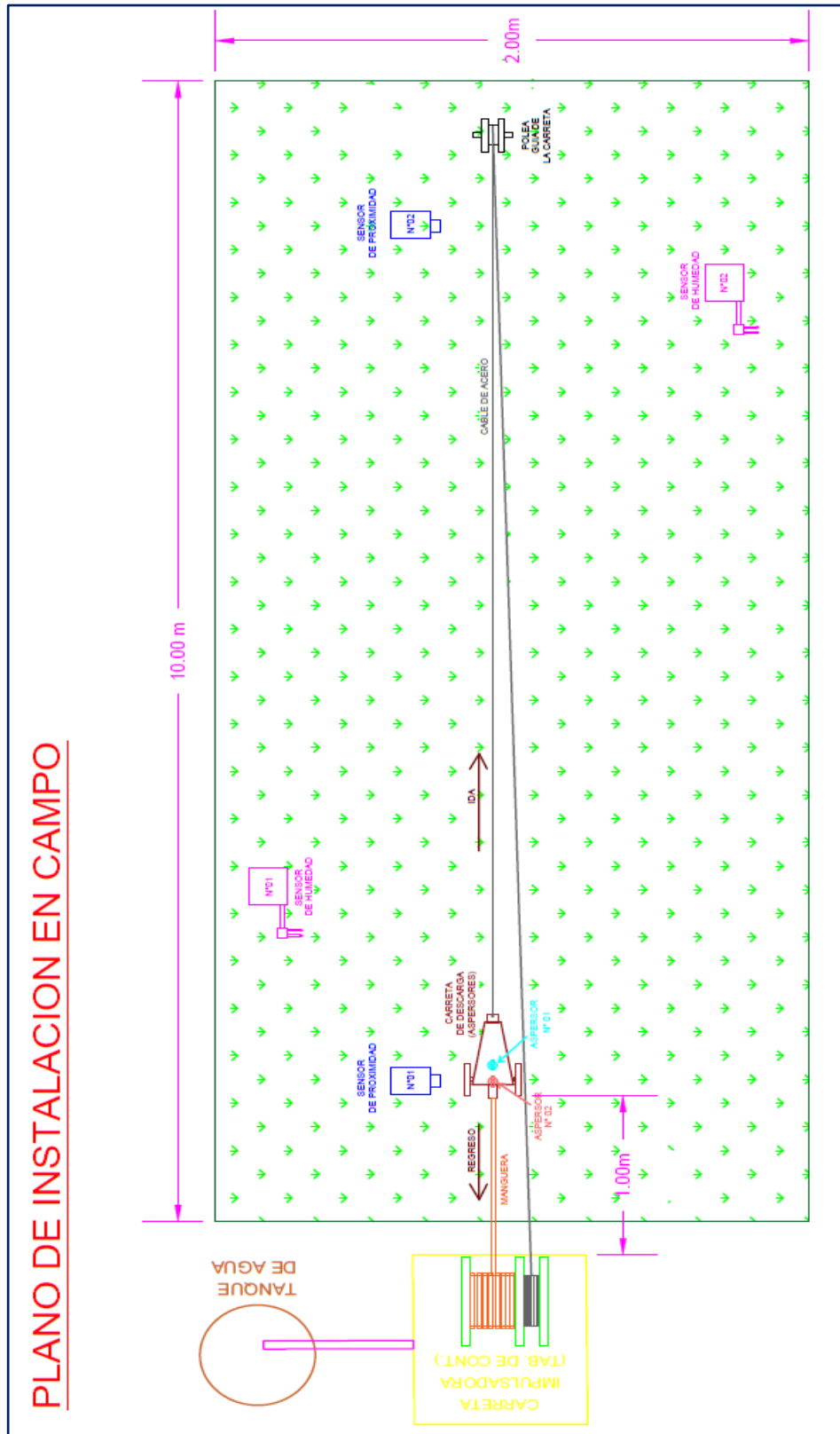
void lee_sensor()
{
  if (millis() > T_DIST + 200) {
    // Clears the trigPin
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    // Sets the trigPin on HIGH state for 10 micro seconds
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    // Reads the echoPin, returns the sound wave travel time in microseconds
    DURACION = pulseIn(echoPin, HIGH);
    //Serial.print("echoPin: ");
    // Serial.print(echoPin);
    // Calculating the distance
    DISTANCIA = DURACION*0.034/2.0;
    DISTANCIA_INT = DISTANCIA;
    // Prints the distance on the Serial Monitor
    //Serial.print(" ,Distance: ");
    // Serial.println(distance);
    //delay(200);
    T_DIST = millis();
  }
}
```

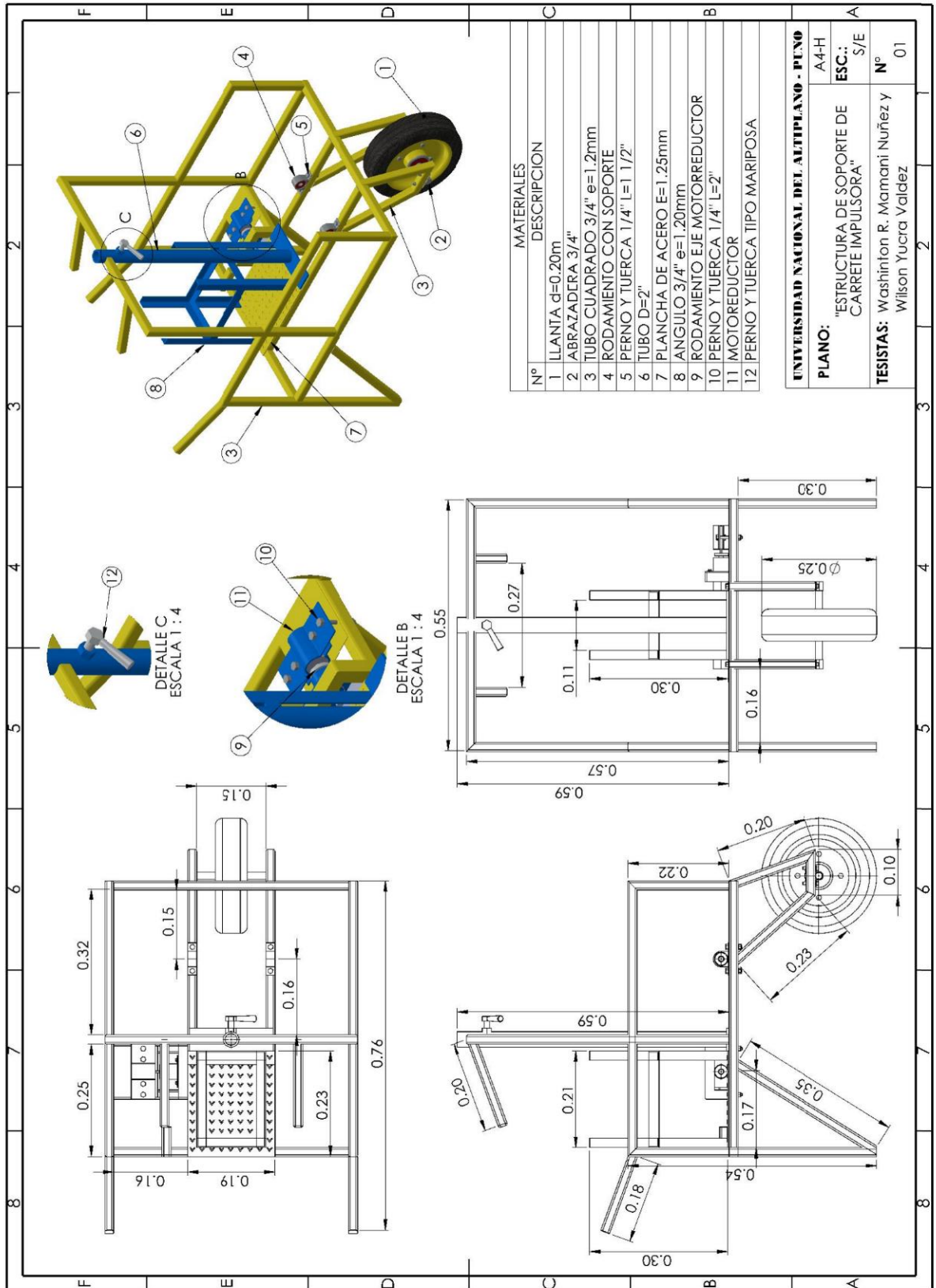
Elaborado por el equipo de trabajo

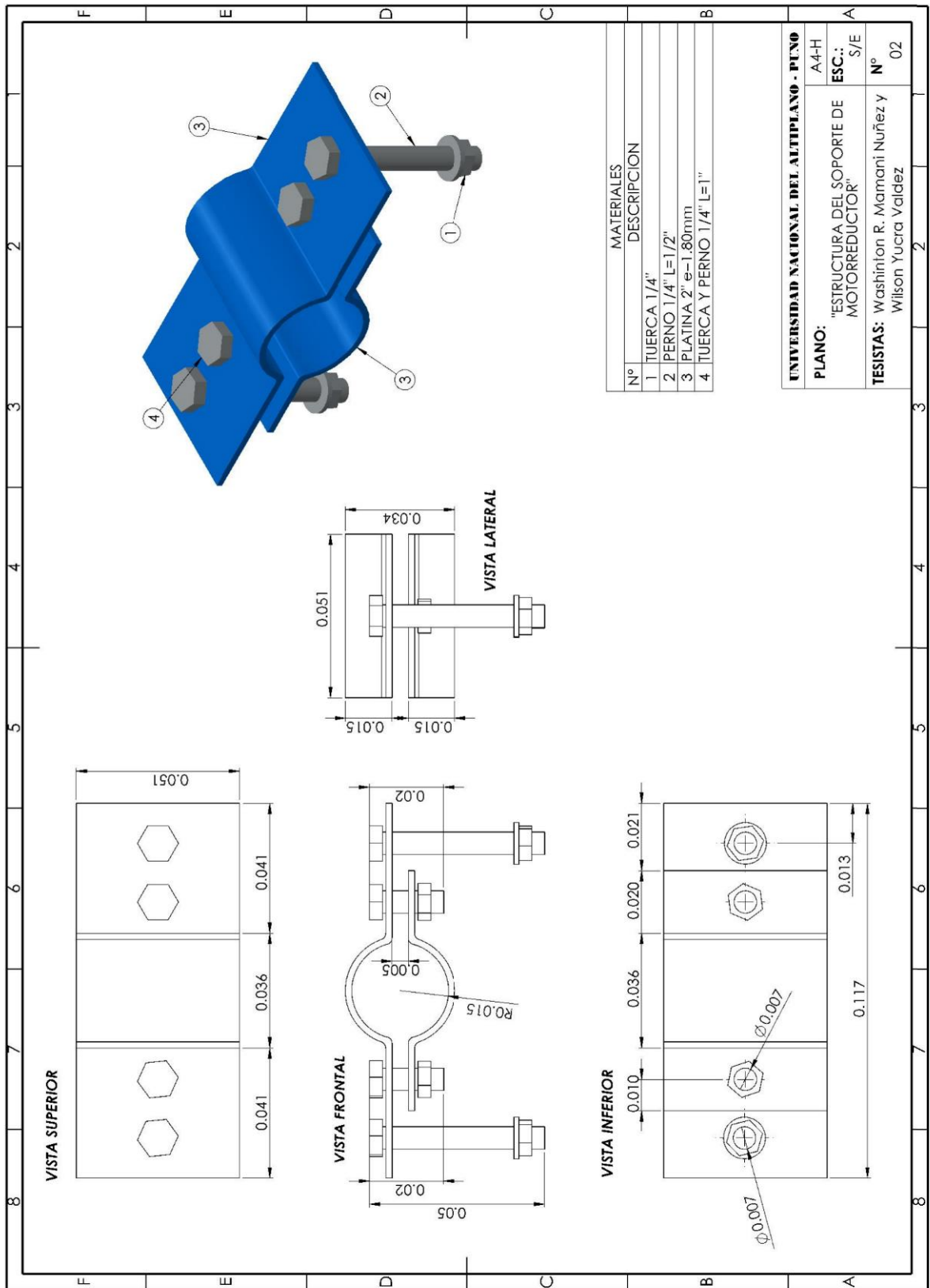
ANEXO N°03: PLANO DE INSTALACION

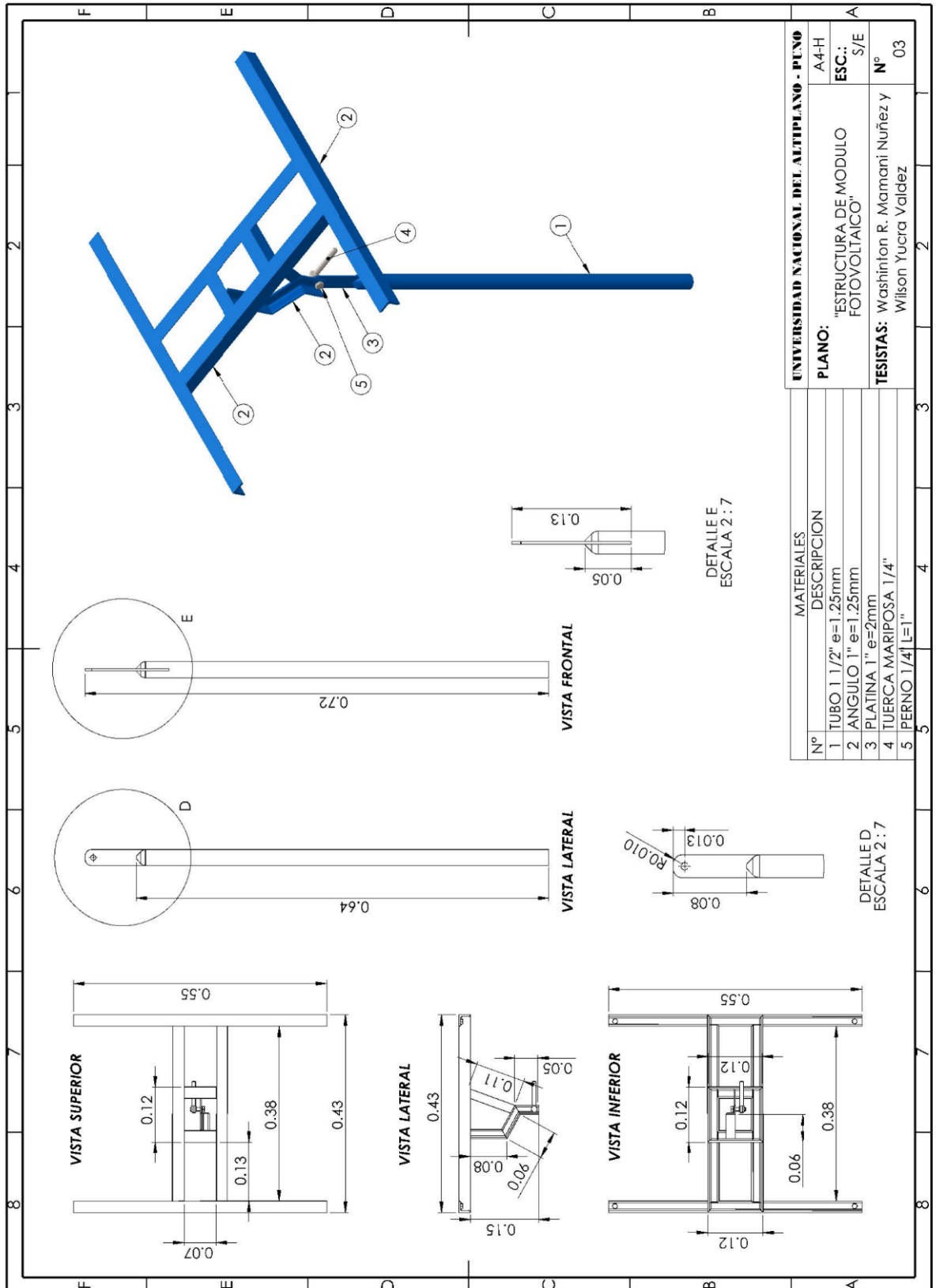


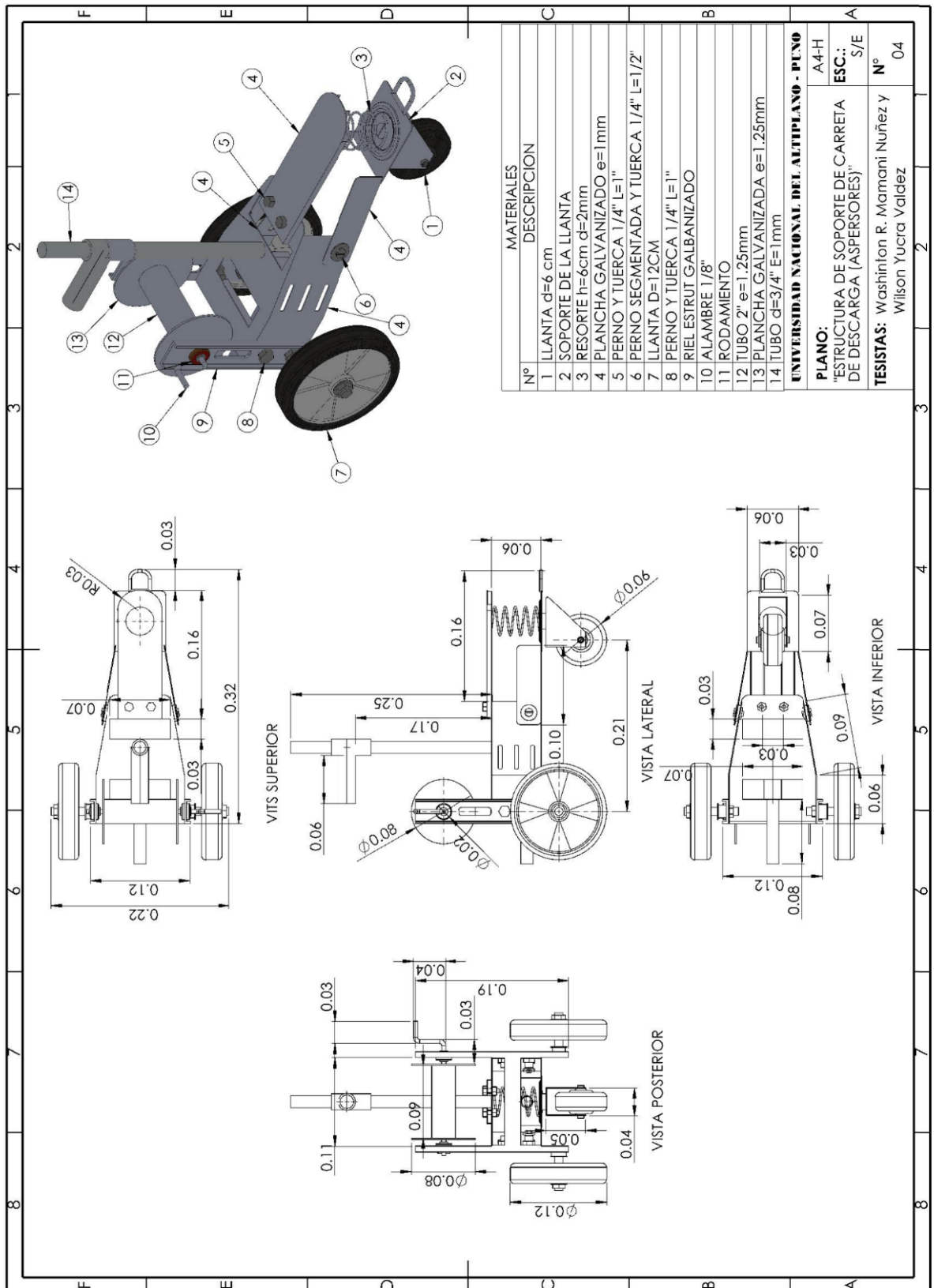
Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO N°04: PLANOS Y LAMINAS DE DISEÑO MECANICO





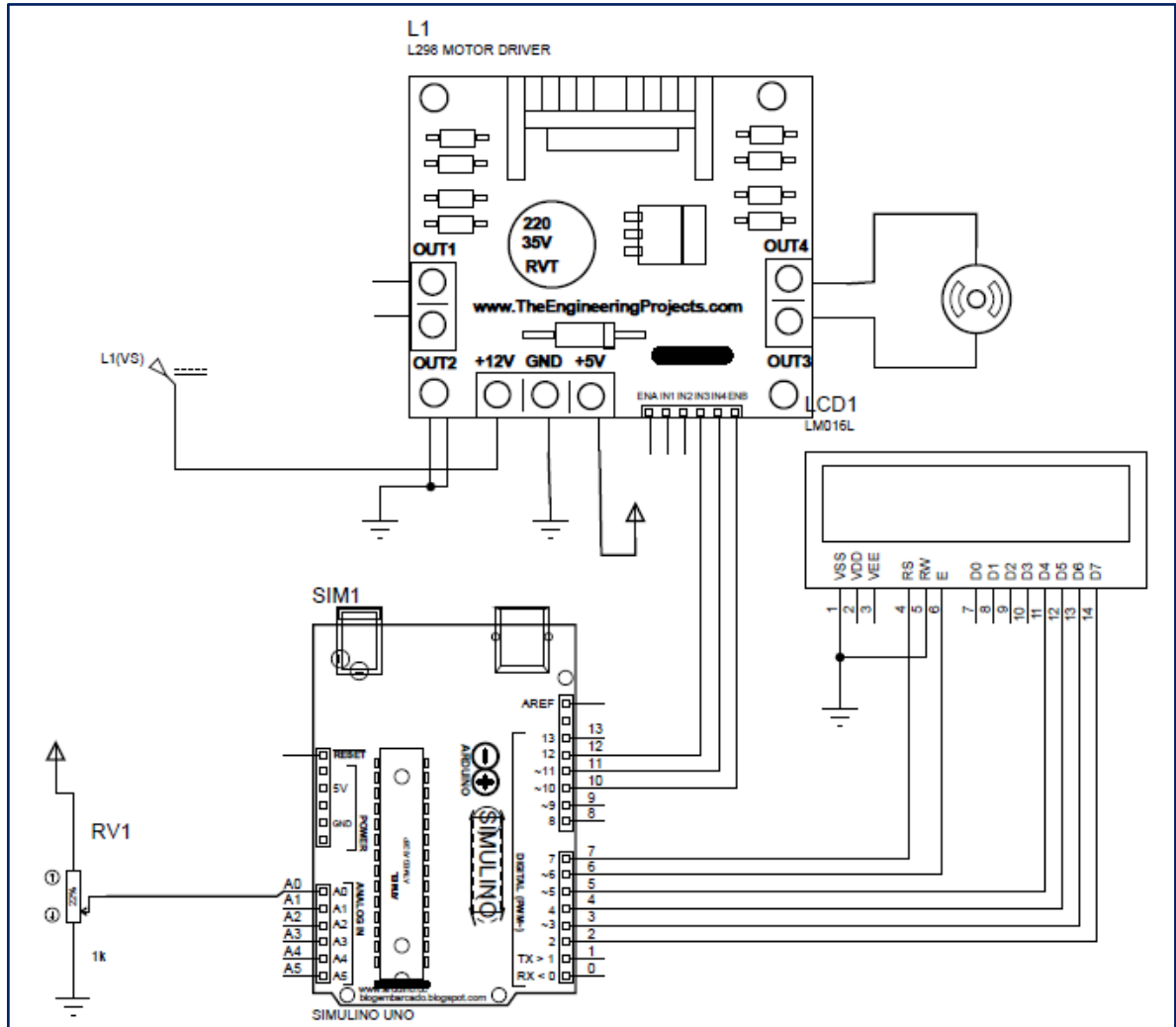




Elaborado por el equipo de trabajo

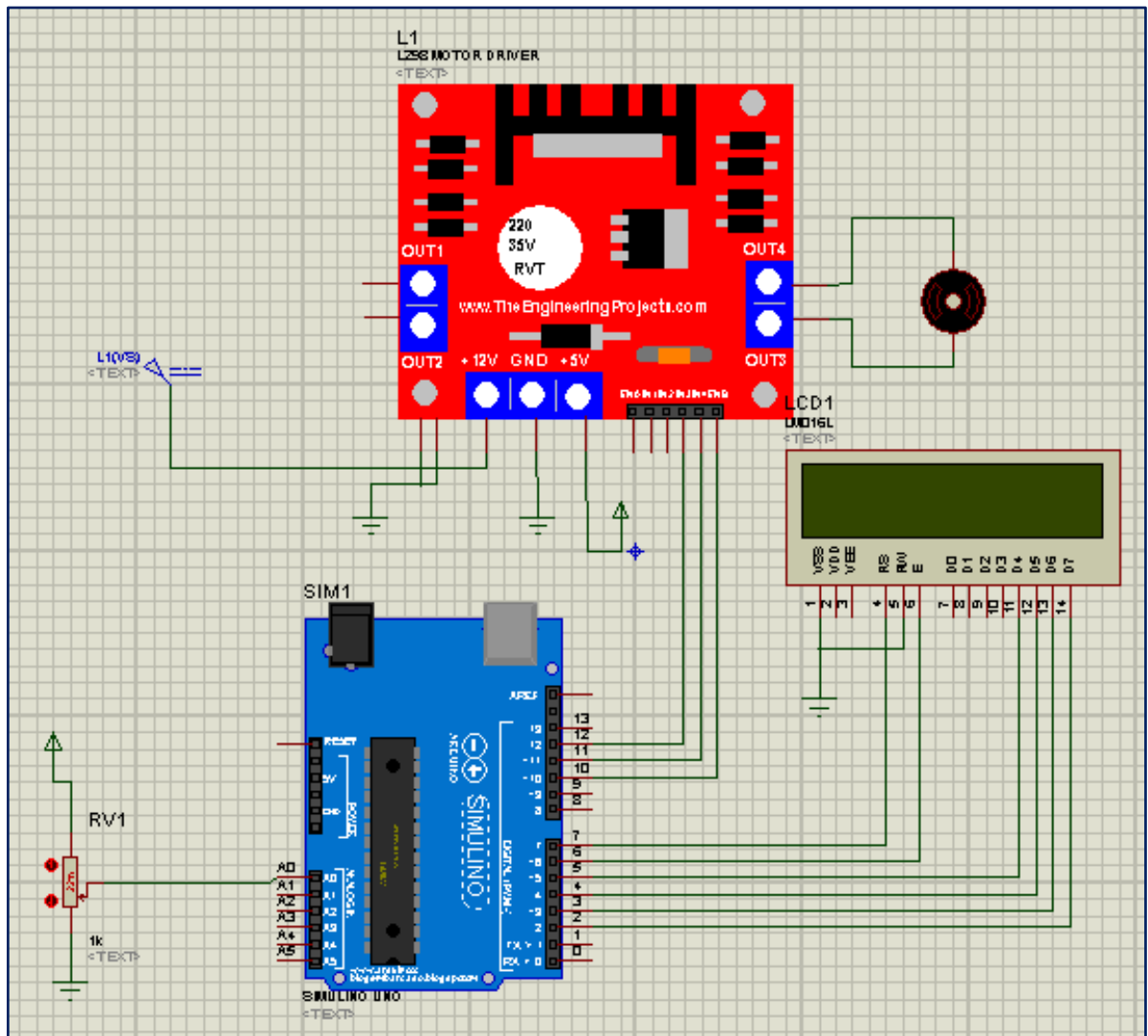
ANEXO N°05: PLANOS Y LAMINAS DE DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRICOS

Plano N°01: Circuito Electrónico de Simulación



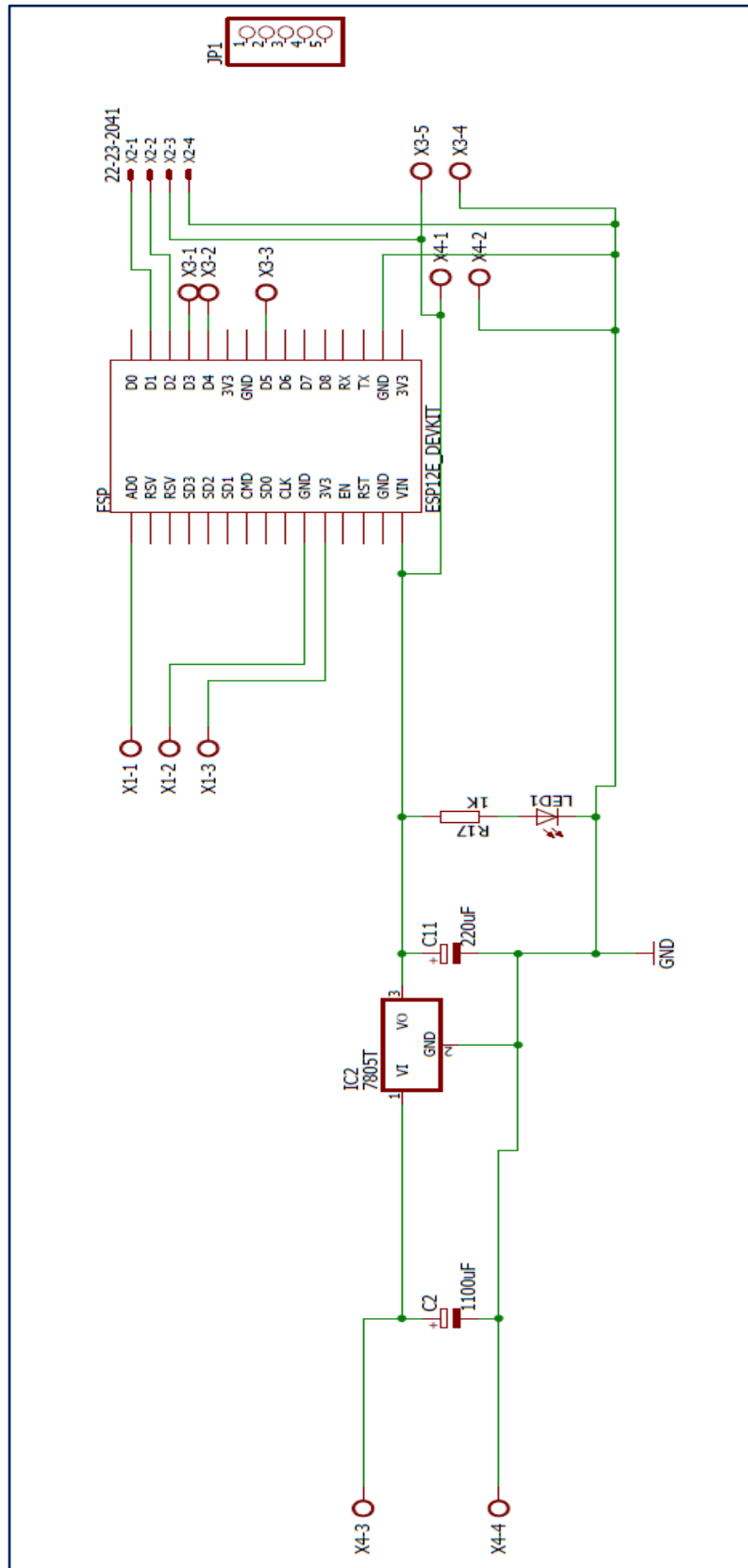
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano N°02: Vista de Simulación de Programación



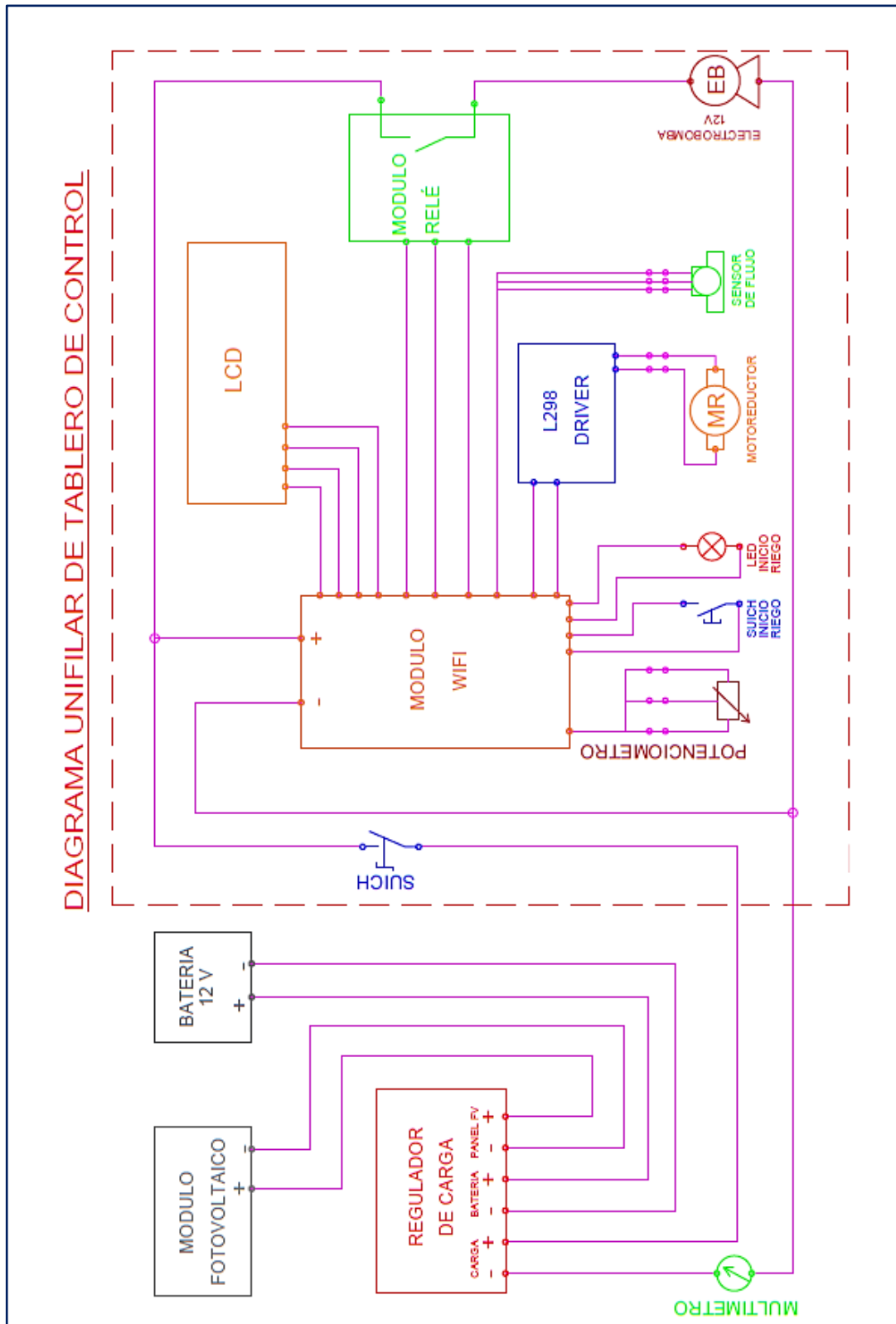
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano N°03: Diagrama unifilar del modulo Wifi



Elaborado por el equipo de trabajo

Plano N°05: Diagrama Unifilar



Elaborado por el equipo de trabajo