

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y  
SERVICIOS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**Tesis Titulada**

**Diseño de un Sistema de Aspersión Autónomo  
para las vías de tránsito de maquinaria pesada en mina.**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Snaider Paul, Silvera -**

Para optar por el Título Profesional de:

**Ingeniero Electrónico**

Asesor:

**Ing. Oscar Edmundo Salazar Alarcon**

**Arequipa – Peru**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar el presente trabajo a mi familia, mis padres y mi hermano, gracias a su motivación he podido culminar mi carrera y el presente trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Nacional de San Agustín por ser mi casa de estudios superiores, en segundo lugar a los docentes que fueron parte importante en mi formación universitaria y guía en cada ciclo, y finalmente a mi familia, quienes fueron una constante motivación para continuar y culminar mi formación como profesional.

## RESUMEN

La presente tesis describe cómo se va a diseñar un sistema de aspersión autónomo para las vías de las minas, el transporte de material se realiza las 24 horas, debido a esto en las vías se levanta polvo ocasionando que la visibilidad disminuya, que podría provocar algún accidente, con el presente proyecto se trata de mantener una visibilidad adecuada para que los camiones puedan transitar de forma normal.

El primer capítulo, se menciona algunos trabajos relacionados con el presente trabajo, que nos ayudarán a entender y tener un conocimiento más amplio de la importancia del diseño, de las condiciones y mantenimiento de las vías de acarreo en las minas.

En el segundo capítulo, se describe los fundamentos, planteamiento y la hipótesis del problema, también se dará a conocer los objetivos generales y objetivos específicos de la tesis.

En el tercer capítulo, se aborda el marco teórico del proyecto, aquí se trata los temas fundamentales para el entendimiento del proyecto: la importancia del transporte de materia prima en las minas, el estado de las vías, sensores para recabar la información de un tramo de la vía, el sistema hidráulico a lo largo de las vías, las válvulas de control, el controlador lógico programable y por último el panel solar que brinda la energía eléctrica para el PLC y sensores.

En el cuarto capítulo, se da a conocer el diseño del sistema de aspersión autónomo para las vías acarreo de las minas, en este capítulo se detalla el sistema hidráulico y sus sistemas de control mediante las válvulas, se realiza los cálculos para determinar la potencia del panel solar, se explica el programa del PLC y los sensores, el diagrama eléctrico del diseño y el funcionamiento del sistema de control.

En el quinto capítulo, se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

## ABSTRACT

This thesis describes how to design an autonomous sprinkler system for the mine roads, the transport of material is carried out 24 hours, due to this, dust rises on the roads causing visibility to decrease, which could happen some accident, with the present project it is to maintain an adequate visibility so that the trucks can transit normally.

In the first chapter, some works related to this work are mentioned that will help us understand and have a broader knowledge of the importance of design, conditions and maintenance than haulage roads in mines.

In the second chapter, the foundations, approach and hypothesis of the problem will be described, as well as the general objectives and specific objectives of the thesis.

In the third chapter, the theoretical framework of the project will be addressed, where the fundamental issues for understanding the project will be discussed, the importance of transporting raw material in mines, the state of the roads, sensors to collect information on a section of the track, hydraulic system along the tracks, control valves, the programmable logic controller and finally the solar panel that will provide electrical power for the PLC and sensors.

In the fourth chapter, the design of the autonomous sprinkler system for the mine haul roads will be disclosed, in this chapter the hydraulic system and its control systems by means of the valves will be detailed, a calculation will be made to determine the power of the panel solar, the program of the PLC and sensors, the electrical diagram of the design and operation of the control system will be explained.

In the fifth chapter, the conclusions and recommendations of the thesis will be announced.

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo I.....	2
Estado del arte .....	2
1.1. Antecedentes. ....	2
Capítulo II.....	9
2. Fundamentación .....	9
2.1. Planteamiento del Problema.....	9
2.2. Delimitaciones y definición del problema.....	11
2.3. Definición del Problema.....	11
2.4. Formulación del problema.....	11
2.5. Objetivo de la investigación .....	12
2.6. Variable .....	12
2.7. Viabilidad de la Investigación .....	13
2.8. Justificación.....	13
2.9. Limitaciones de la Investigación.....	14
Capítulo III .....	15
3. Marco teórico .....	15
3.1. Antecedentes. ....	15
3.2. Vías de tránsito.....	16
3.3. Maquinaria pesada de mina.....	18
3.4. Mina.....	23
3.5. Sensores temperatura y humedad .....	28

3.6. Controladores lógicos programables .....	35
3.7. Etapas para iniciar la operación minera. ....	47
3.8. Paneles solares.....	49
3.9. Baterías .....	57
3.10. Controladores de voltaje.....	80
3.11. Definición de solenoide.....	87
Capítulo IV .....	95
4. Propuesta del diseño y cálculo de paneles solares. ....	95
4.1. Diseño del sistema autónomo de riego por aspersión. ....	95
4.2. Desarrollo del proyecto. ....	96
4.3. Instalación de panel solar. ....	99
4.4. Cálculo de las dimensiones de los paneles fotovoltaicos. ....	120
4.5. Descripción del sistema. ....	126
4.6. Simulación del programa.....	139
4.7. Ladder del PLC. ....	140
Capítulo V .....	149
5. Conclusiones y recomendaciones.....	149
5.1. Conclusiones .....	149
5.2. Recomendaciones.....	151
Bibliografía.....	154
Anexos.....	156

## Índice de Figuras

Figura 1: Camión Belaz 75710.....	20
Figura 2: Camión Westech T282C.....	20
Figura 3: Camión Caterpillar 797F.....	21
Figura 4: Terex 33-19 Titan.....	22
Figura 5: Micro 810.....	45
Figura 6: Micro 820.....	46
Figura 7: Posición de la tierra con respecto al sol.....	51
Figura 8: Valores de radiación solar.....	51
Figura 9: Célula fotovoltaica.....	53
Figura 10: Instalación de un sistema fotovoltaico.....	57
Figura 11: Batería de GEL.....	61
Figura 12: Baterías de litio.....	62
Figura 13: Dimensiones de las baterías de litio.....	68
Figura 14: Capacidad vs descarga.....	75
Figura 15: Capacidad vs temperatura.....	75
Figura 16: Conexión del controlador de voltaje.....	81
Figura 17: Tipos de controladores.....	83
Figura 18: Controlador de energía.....	84
Figura 19: Conexión del regulador de carga.....	87
Figura 20: Partes de una válvula solenoide.....	87
Figura 21: Solenoide laminado AC.....	89
Figura 22 Solenoide con marco en C.....	89
Figura 23: Solenoide laminado AC.....	90
Figura 24: Solenoide laminado AC.....	91
Figura 25: Solenoide laminado AC.....	91
Figura 26: Solenoide tipo latch.....	94
Figura 27: Diagrama de bloques del sistema.....	95
Figura 28: Sistema de riego.....	98



Figura 29: Ubicación de la UM. ....	100
Figura 30: Latitud y Longitud. ....	100
Figura 31: Orientación del panel solar. ....	101
Figura 32: Rotación de la tierra. ....	102
Figura 33: Ángulo de inclinación para Enero. ....	104
Figura 34: Ángulo de inclinación para Febrero. ....	104
Figura 35: Ángulo de inclinación para Octubre. ....	105
Figura 36: órbita elíptica alrededor del sol. ....	108
Figura 37: Irradiación solar extraterrestre sobre un plano inclinado. ....	109
Figura 38: Irradiancia directa sobre un panel solar horizontal. ....	113
Figura 40: Radiación global para B = 0 hasta B = 15. ....	117
Figura 41: Radiación global para B = 20 hasta B = 40. ....	118
Figura 42: Radiación global para B = 50 hasta B = 65. ....	119
Figura 43: Radiación global para B = 70 hasta B = 78. ....	119
Figura 43: Radiación solar promedio anual. ....	120
Figura 44: Irradiación solar. ....	124
Figura 45: Humedad relativa ....	129
Figura 46: Humedad vs Temperatura ....	130
Figura 47: Diagrama P&ID. ....	131
Figura 48: Diagrama eléctrico. ....	132
Figura 49: Sensor de temperatura. ....	133
Figura 50: Sensor de humedad ....	134
Figura 51: Sensor de presión ....	136

## Indice de tablas

Tabla 1: Rendimiento de paneles mono cristalinos.....	56
Tabla 2: Rendimientos de los módulos poli cristalinos.....	56
Tabla 3: Características de consumo de energía del sistema fotovoltaico. ....	70
Tabla 4: Nivel de carga de la batería de 12v. ....	72
Tabla 5: Nivel de carga de la batería de 24v. ....	72
Tabla 6: Nivel de carga de la batería de 48v. ....	73
Tabla 7: Características del controlador. ....	85
Tabla 8: Tabla de distribución de los aspersores.....	97
Tabla 9: Ángulo de inclinación. ....	101
Tabla 10: Declinación solar.....	103
Tabla 11: Ángulo de salida del sol al amanecer.....	106
Tabla 12: Ángulo de salida del sol P.I.....	107
Tabla 13: factor de excentricidad. ....	108
Tabla 14: Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano.....	110
Tabla 15: Índice de claridad. ....	110
Tabla 16: Índice de claridad. ....	111
Tabla 17: fracción difusa.....	112
Tabla 18: Radiación difusa.....	113
Tabla 19: Irradiancia directa sobre un panel solar horizontal. ....	114
Tabla 20: Factor de corrección.....	115
Tabla 21: Radiación global panel solar inclinado. ....	117
Tabla 22: Consumo de energía.....	121
Tabla 24: Rendimiento del sistema. ....	122
Tabla 25: Consumo energético teórico.....	122
Tabla 26: Número de paneles.....	123
Tabla 27: Cálculo de baterías.....	125
Tabla 28: Calculo de número de baterías en paralelo. ....	126
Tabla 29: Cálculo de controlador.....	126
Tabla 30: Presupuesto del diseño nuevo. ....	137

Tabla 31: Costo del diseño actual de la central. ....	137
Tabla 32: Costo del diseño actual, 1 módulo de riego. ....	138
Tabla 33: Comparación de costo actual versus el nuevo presupuesto. ....	138

## Introducción

La minería en el Perú ocupa lugares importantes en la producción de cobre, oro, plata y zinc, la cual brinda un gran aporte económico al país, Luna (2011) dio a conocer que la minería peruana ocupa el primer lugar como productor de oro, zinc, estaño y plomo en Latinoamérica, y con respecto a nivel mundial el Perú se encuentra en sexto lugar.

En la política minera el estado Peruano cumple un rol normativo y promotor, el cual busca tener el equilibrio en lo económico, social y ambiental, para esto el estado peruano se apoya en 4 entidades, que son: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral SUNAFIL y los gobiernos regionales.

El Instituto de Ingenieros del Perú (2010) pudo observar que los ingresos generados por la minería, así como los impuestos, el canon minero y demás contribuciones han sido una influencia positiva para la economía del país.

Por otro lado, como la minería tiene una relación directa con el medio ambiente, es importante la constante supervisión mediante las diferentes entidades ya mencionadas anteriormente, estas entidades van a regular y supervisar que las empresas del sector eléctrico, hidrocarburos y mineros cumplan con las disposiciones legales.

En las minas, los camiones mineros transportan la materia prima de forma continua, del tajo a la chancadora primaria o áreas de almacenamiento, estos camiones transportan entre 200 toneladas y 300 toneladas por viaje a una velocidad 50 km/h aproximadamente, es por esta razón que las vías por donde transitan deben estar en buen estado.

Uno de los factores de riesgo es la poca visibilidad por la polución que existe al transitar estos vehículos, en la mayoría de las minas existen cisternas que riegan las vías, pero no se da abasto para todo el tajo y no tiene acceso a toda la mina, cabe mencionar que estas cisternas de riego consumen combustible, horas hombres y el desgaste de la misma cisterna.

## **Capítulo I**

### **Estado del arte**

#### **1.1. Antecedentes.**

##### **1.1.1. Varas (2013). “Diseño de un sistema electrónico para riego de césped de jardín empleando un sensor de humedad de suelos y comunicación inalámbrica” Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.**

El objetivo de la tesis es poder implementar un sistema de riego automático para los jardines y campos a bajo costo y que su instalación sea sencilla, poder controlar el sistema de forma que se aproveche el agua al máximo.

Para poder llevar a cabo la implementación del sistema, Varas realizó la investigación de los sensores que se adapten más a su proyecto, de la misma forma realizó una investigación acerca del hardware disponible para poder realizar la comunicación inalámbrica y por último revisó que el PLC se adapta a su proyecto.

Varas concluyó que:

- Al terminar con la investigación se realice la simulación del sistema, el cual funcionó correctamente.
- Al realizar la implementación del sistema de riego observó que este sistema no sólo se podía usar para el riego de los jardines, sino que también para el riego de las chacras y áreas desérticas con un máximo aprovechamiento del agua.
- Otro aspecto que menciona Varas, es la importancia de una correcta selección de los sensores para tener una lectura correcta, lectura de la humedad en el área, esto garantiza el correcto funcionamiento del sistema de riego.

**1.1.2. Martínez (2002). “Diseño e implementación del sistema de automatización para integrar los procesos de un riego tecnificado”  
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.**

El objetivo de la tesis es poder diseñar un sistema de automatización para mejorar cada etapa del proceso de cultivo en 32 hectáreas, con la finalidad de optimizar los recursos de este proceso.

Para poder implementar su proyecto, Martínez realizó varias investigaciones de los avances tecnológicos que puedan mejorar el sistema de riego en la agricultura, siendo el de mayor interés: el control de la presión en los sistemas de distribución hidráulicos, para poder optimizar el riego se tuvo que investigar los diferentes tipos de riego, como ejemplo: el riego por goteo, el riego por inundación, el riego por aspersión, entre otros, el objetivo de estudiar estos métodos es poder aprovechar el agua y que se pueda regar la mayor cantidad de área.

Martínez tenía como objetivo controlar el sistema de bombeo reduciendo al máximo los errores en el funcionamiento de la bomba, para esto desarrolló una filosofía de control del sistema de riego y un control PID para así poder reducir el tiempo en que la bomba pueda estabilizarse y poder tener una presión adecuada para el sistema de riego, si se tiene una presión muy alta el sistema hidráulico corre el riesgo de dañarse lo cual sería muy perjudicial para el proyecto. Después se implementó un sistema de seguridad que envía una señal a su central para indicar el tipo de problema que tiene el sistema, entre otras mejoras tiene dos formas de control: una desde la central y una en forma local.

Martínez concluyó:

- Que el sistema que implementó puede cumplir con las necesidades de riego siempre y cuando se tenga el control de las bombas y perfecta sincronización en el bombeo en el sistema hidráulico, para ello se tomó todas las medidas de seguridad y de control, esto no sería posible sin antes no conocer bien las variables que están involucradas en su sistema de riego.

- Otro factor que es muy importante es el correcto funcionamiento del sistema de bombeo, para ello realizó un control PID con la finalidad de poder tener un sistema que pueda estabilizarse en el menor tiempo y garantizar el funcionamiento del sistema.
- Es muy importante poder seleccionar los sensores que le puedan brindar una medición real de la variable física, para que así la lógica de control, pueda tener la información correcta y pueda tomar las decisiones adecuadas y el sistema funcione de forma correcta.

### **1.1.3. Alata (2015) “Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares” Universidad Nacional de Ingenierías, Lima-Perú.**

El principal objetivo es poder realizar un correcto dimensionamiento para el sistema de bombeo utilizando paneles solares fotovoltaicos, este sistema será implementado inicialmente en la Universidad Nacional Agraria La Molina, su implementación se realizará inicialmente en los servicios higiénicos.

Primero Alata definió de cuantas partes estaría conformado el sistema de bombeo que está planteando en la tesis, inicialmente se enfocó en averiguar la forma de aprovechar al máximo la energía que va a provenir de la radiación solar, entonces realizó una investigación de las formas de configuración para obtener el voltaje y la corriente adecuada para el sistema de bombeo además investigó las formas de instalar los paneles solares para su máximo aprovechamiento, luego estudió las diferentes formas de poder bombear el agua con respecto a los diferentes tipos de bombas para así poder saber cuál de ellas se adapta más a su sistema, de igual manera tuvo que determinar el tipo de motor que se adapte mejor a la bomba elegida, este equipo va estar en función al sistema de potencia que se va a manejar, entonces Alata tuvo que evaluar primero que tanta energía va a utilizar en el sistema, posteriormente evaluar que tanta energía podrá obtener de la radiación solar y finalmente los equipos que se elijan tienen que adaptarse al sistema de potencia.

Alata realizó una serie de cálculos, como por ejemplo el consumo del agua por día, también tuvo que realizar el cálculo de consumo energía de la bomba, finalmente calculó la potencia que brindaría los paneles fotovoltaicos en base a las dimensiones de los paneles, Alata calculó la máxima corriente de consumo del sistema para así

poder elegir un regulador de carga correcto, además con esta información puede elegir el cable ideal para el sistema de bombeo.

Alata llegó así a las siguientes conclusiones:

- La energía fotovoltaica proveniente de la radiación solar es una fuente inagotable de energía y no muy difundida por el gobierno, siendo esta una buena opción para poder hacer la vida más fácil en las áreas de difícil acceso de la energía eléctrica.
- Para poder realizar una correcta implementación es necesario conocer el consumo de agua diario, es decir, el caudal que se necesita diario, las condiciones donde será instalada la bomba y finalmente la radiación solar en el área.

#### **1.1.4. Martínez (2015) “Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.”**

**Universidad Carlos III de Madrid, Madrid-España.**

El objetivo es poder realizar el dimensionamiento de un sistema de energía basado en paneles fotovoltaicos, con la finalidad de poder brindar energía eléctrica a una casa donde sólo vive una familia, para esto es necesario realizar una simulación del consumo de energía total de la casa, y así poder determinar la cantidad de paneles que van a utilizar en el proyecto.

Martínez, realizó una serie de simulaciones para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos a utilizar, para poder cubrir la potencia necesaria de la casa, de la misma manera comparó la energía que brindaba el generador de gasolina, observando que el consumo de combustible es significativamente mayor, lo cual eleva el costo del proyecto, en comparación de la energía que los paneles fotovoltaicos proveen, pero al usar un generador de gasolina se puede disminuir el banco de baterías y así el costo del proyecto sería menor.

En las diferentes simulaciones que realizó también tomó en cuenta los meses del año para poder saber en qué mes hay mayor radiación solar, y así poder saber la eficiencia de los paneles para el proyecto.

Martínez llegó a las siguientes conclusiones:



- Al final concluyó que el sistema de energía fotovoltaico es más económico, y que tener un generador a gasolina como respaldo ayudaría en caso que se presente algún inconveniente, pero también con esto se reduce el banco de baterías haciendo más factible el proyecto con respecto al costo.

**1.1.5. Romero (2015) “Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su situación en las regiones de la costa y sierra del Ecuador.” Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona-España.**

Romero realizó una comparación de un sistema de paneles fotovoltaicos instalados en Cataluña España y una en Ecuador con el mismo sistema de paneles solares, los paneles solares fueron instalados en la fachada y la cobertura de los edificios, para realizar esta comparación se basó en 3 parámetros que son: energéticos, ambientales y económicos.

Para poder realizar esta comparación, primero investigó sobre algunas definiciones, tipos de paneles solares y la forma de conexiones de paneles solares, con la finalidad de entender más sobre su funcionamiento y también sobre el cálculo que se tiene que desarrollar para cuantificar la eficiencia del sistema de paneles solares, ya que el objetivo del trabajo es realizar una comparación de los dos sistemas instalados en diferentes áreas geográficas.

Escenario 1.- no realizó ninguna modificación del proyecto inicial, manteniendo la misma orientación de la fachada, el grado de inclinación de los paneles en la fachada y en la cubierta.

Escenario 2.- en este escenario mejora el grado de inclinación de los paneles en la cubierta con un grado de inclinación para que tenga un mejor rendimiento.

Escenario 3.- en este escenario modifica el grado de inclinación de los paneles solares a 15° de Ecuador-Quito, con la finalidad de obtener una mejor eficiencia del sistema. Esta modificación la realiza según la normativa ecuatoriana.

Escenario 4.- en este escenario modifica el grado de inclinación de los paneles solares a 5° de Ecuador-Quito, con la finalidad de obtener una mejor eficiencia del sistema. Esta modificación la realiza según la normativa ecuatoriana.

Escenario 5.- en este escenario el grado de inclinación es el óptimo para ambas edificaciones.

Romero llegó a las siguientes conclusiones después de evaluar diferentes escenarios:

- La energética en el escenario 1 brinda mayor energía a Cataluña, ya que el proyecto fue desarrollado para esta edificación, para el escenario 2, Quito llega a superar a Cataluña-España, en los demás escenarios observó que el sistema instalado en Quito es más eficaz.
- Que económicamente desarrollar en el Ecuador resulta más caro, debido al costo elevado de esta tecnología, en los escenarios 3,4 y 5 las utilidades son mayores en comparación a los escenarios 1 y 2, quiere decir que tiene una ganancia que supera en 146% a la ganancia que genera la inversión en Cataluña-España.
- Ambiental. La generación del CO<sub>2</sub> en el proyecto se encuentra por encima de otros proyectos fotovoltaicos, los avances tecnológicos ayudan a que esta producción de CO<sub>2</sub> llegue a estar entre 20 a 30 gCO<sub>2</sub>/kwh, siendo en el futuro una energía más limpia.

#### **1.1.6. Guash (2003) “Modelado y análisis de sistemas fotovoltaico” Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona –España.**

El objetivo de Guash es desarrollar un sistema de paneles fotovoltaicos que ayude a personas que deseen involucrarse en esta área para que puedan entender, conocer e implementar este tipo de sistema, el objetivo principal está formado por 5 partes que ayudaran a conocer más de este sistema.

Para realizar el modelamiento, tuvo que realizar un análisis de todos los dispositivos involucrados en el sistema de paneles fotovoltaicos, para desarrollar el programa en Matlab/Simulink tuvo que enunciar la base teórica de cada elemento que formaría parte de su sistema, los elementos que van participar en el sistema son las baterías, paneles solares, reguladores de carga, inversores y convertidores, controlador de conexión a red eléctrica y por último resistencias de pérdidas.

Para poder realizar la simulación se basó en el modelo de Copetti, que toma en cuenta sólo dos factores que son: la temperatura constante y la corriente, de esta manera se podrán simular las baterías para los paneles solares.

Guash llegó a las siguientes conclusiones:

- En la primera simulación tiene dos factores; la temperatura y la corriente, la temperatura va ser constante debido a que el experimento se llevó en un lugar controlado, sólo consideró la corriente en la prueba de la batería, la batería duro 4 días sólo realizando recargas cuando la incidencia de la irradiación solar es mayor en los paneles solares.
- En la segunda simulación comparó la prueba realizada en el laboratorio con la simulación, teniendo un error de 0.87% en las crestas, en base a estos resultados concluyó que el modelo desarrollado presenta una precisión aceptable para las aplicaciones en los paneles fotovoltaicos, teniendo en cuenta que la mayoría de equipos presentan un error de 1% ó 2%.
- Guash realizó una simulación donde se puede observar cómo afecta la temperatura a los paneles solares, cuando tiene mayor irradiación solar, y el valor de temperatura es de 25°C, esto hace que en el panel solar no entre toda su capacidad y existan perdidas, siendo esto contra productivo para poder recargar la batería del sistema.

En conclusión los estados de arte mencionados anteriormente nos brindan un panorama más amplio del uso de los paneles solares en la minería, los tipos y formas de riego ya sea en la agricultura o en la minería y la importancia de la automatización en los sistemas de control alejados, donde la energía comercial no puede llegar, en base a estos antecedentes se puede diseñar un sistema de aspersión autónomo para las vías de acarreo en las minas.

## **Capítulo II**

### **2. Fundamentación**

En la compañía minera Antamina y otras minas cuentan con dos sistemas de riego, uno mediante cisternas y el otro es un sistema de riego por aspersión.

Se observó en el actual sistema de riego por aspersión que presenta algunas deficiencias, por ejemplo, no existe una comunicación continua entre la central (RTU MASTER), las repetidoras y los módulos (RTU SLAVE) instalados a lo largo de la vía, su sistema de comunicación entre la central y los módulos lo realiza mediante radio frecuencia (RF), para esto debe existir una línea de vista entre la central (RTU MASTER), las repetidoras y los módulos (RTU SLAVE), la línea de vista existente se llega a perder debido al movimiento de tierra que se realiza en la mina y es por esta actividad que da lugar a la formación de nuevos cerros, uno de estos cerros se encuentra entre la central y los módulos, es la razón que llega a perder la línea de vista entre la central (RTU MASTER) y los módulos (RTU SLAVE).

El control en los módulos locales, se realiza por medio de una tarjeta electrónica que recepciona la señal que envía la central (RTU MASTER) esta señal va a activar las electroválvulas dejando pasar el agua hacia los aspersores, es necesario tener una presión superior a 8 PSI en la entrada de los aspersores para poder regar todo el ancho de la vía, ha ocurrido que la presión en la entrada de los aspersores es menor a los 8 PSI y de todas formas se activó la electroválvula de los aspersores por el tiempo que se encuentra programado en la central, con una presión menor a los 8PSI no se puede regar todo el ancho de la vía.

#### **2.1. Planteamiento del Problema**

Una etapa importante en la minería es el transporte de la materia prima desde el tajo hasta el área de chancado, la materia prima es transportada por los camiones de acarreo, las vías por donde se movilizan estos camiones es de pura tierra y grava, lo que hace que en las temporadas de sol estas vías están totalmente secas y ocasionan que se levante polvo cuando transitan los camiones, este polvo disminuye la visibilidad de los conductores, ocasionando que los camiones disminuyan su velocidad y así se

afecta directamente a la producción, es por esta razón que es necesario que el sistema de aspersión funcione permanentemente.

### **2.1.1. Descripción de la realidad.**

El transporte del material en la mina se realiza todos los días, el material puede ser transportado a la planta para su procesamiento o ser almacenada para su posterior procesamiento, este material es transportado por maquinaria pesada (equipos), estos equipos al transitar por las vías levantan polvo ocasionando que la visibilidad en la vía no sea buena, por lo cual se riega las vías con agua, para esto se utiliza un sistema de riego que están distribuidos a lo largo de todas las vías por donde transitan los equipos con la finalidad de mantener las vías mojadas (húmedas), al tener las vías húmedas no va haber polvo en el medio ambiente, lo cual va permitir el tránsito de los equipos, por lo cual en las diferentes minas del Perú estos sistemas de aspersión son instalados.

Nuestro sistema de aspersión posee 14 unidades de control (cajas) de las cuales están comunicadas con la central mediante un repetidor ubicado en partes más alta de la zona que permitan que exista línea de vista para algunas cajas y así poder tener comunicación entre las cajas y la central de igual manera hay cajas que están siendo utilizadas como repetidores, cada caja de control posee una tarjeta de control de solenoides esta tarjeta también sirve para configurar la dirección y la frecuencia para que se pueda comunicar con la central, en la caja también existe una antena la cual permite el envío y recepción de la información, dentro de las cajas están instaladas las solenoides, estas se activan con un pulso, generada por las tarjetas.

La comunicación entre las cajas y la central no es permanente porque no hay una línea de vista entre estas, las condiciones climatológicas no son muy favorables para una comunicación continua y otro inconveniente es la distancia que hay entre la central y el repetidor es por esta razón que la comunicación no es permanente con algunas unidades.

## **2.2. Delimitaciones y definición del problema**

### **2.2.1. Delimitaciones**

La presente investigación evaluara las condiciones climáticas para poder activar los aspersores y así de esta forma mantener las vías mojadas y por consecuencia disminuir el polvo en las vías.

También contara con una programación que realice el riego de forma sistemática según las estaciones del año o las necesidades de la mina.

Sistema de energía (panel solar), que nos permitirá la independencia energética del equipo.

Para la parte de control hidráulico se utilizara los solenoides de control existentes en las cajas de control y en los mismos aspersores, aumentando la eficiencia del sistema energético.

En la actualidad se tiene un sistema de aspersion en el cual se puede mejorar realizando una investigación para el mejoramiento de la parte de control usando la infraestructura existente.

### **2.3. Definición del Problema**

Los sistemas de aspersion para minería son muy importantes, porque la excesiva cantidad de polvo en las vías no permitiría el tránsito de la maquinaria pesada con fluidez, por lo cual se necesita el buen funcionamiento de estos.

Es importante para la investigación el poder tener acceso al PLC para su activación y/o programación de ser necesario y también al panel solar para realizar su mantenimiento y/o cambio de presentarse algún problema.

### **2.4. Formulación del problema**

1. ¿Se podrá diseñar un sistema autónomo que controle los aspersores según las condiciones climáticas y/o requerimientos de la mina?

2. ¿Se podrá conectar a un sistema de supervisión para verificar el funcionamiento y el estado en el que se encuentra el equipo?

## **2.5. Objetivo de la investigación**

### **2.5.1. Objetivo General**

Es diseñar un sistema de aspersión autónomo que funcione de forma continua y cumpla los requerimientos establecidos para un tránsito fluido de la maquinaria pesada.

### **2.5.2. Objetivos Específicos**

Realizar el cálculo para el dimensionamiento de los paneles solares en base al consumo de energía del PLC, solenoides y de los indicadores visuales.

Realizar el cálculo del banco de baterías para que el sistema de control cuente con energía eléctrica de forma permanente.

Realizar la programación del controlador lógico programable, para el sistema de control de las electroválvulas.

## **2.6. Variable**

Las condiciones climáticas como la temperatura, humedad en las vías causa la poca visibilidad para los conductores de los camiones mineros, además la falta de presión en las líneas de agua ocasionan que exista bastante pulosión en las vías.

### **2.6.1. Variables Independientes**

- A. Temperatura en las vías de acarreo
- B. Humedad en las vías de acarreo
- C. Presión de agua en el sistema de hidráulico.

## **2.6.2. Variables Dependientes**

- A. Calculo para determinar el tiempo de autonomia del banco de baterias en funcion de los paneles solares.
- B. La logica de funcionamiento del sistema de riego en el PLC.
- C. escalamiento de las señales analogicas de los transductores.

## **2.7. Viabilidad de la Investigación**

### **2.7.1. Viabilidad técnica**

Se cuenta con los recursos tecnológicos para poder suministrar energía eléctrica al sistema de riego.

En el mercado existen sensores que nos permiten interpretar los fenómenos climatológicos, con los cuales podremos tener una señal para el PLC.

Viabilidad operativa.

Se contrasta las señales de los sensores para realizar el escalamiento de la señal analogica (4-20mA) en el PLC.

Viabilidad económica.

La presente investigación al ser culminada se presentara a la compañía minera para su evaluación e implementacion.

## **2.8. Justificación**

### **2.8.1. Proposito de la investigacion.**

Debido a los continuos problemas que presentan el sistema actual en su funcionamiento, equipos de comunicacion y el no poder activar el sistema de riego según lo programado o la necesidad de las vias de acarreo.

### **2.8.2. Conveniencia de la investigacion.**

La razon de este estudio es poder presentar una solucion efectiva y que se viable en las condiciones de la mina, para mantener las vias en las mejores condiciones para un transito fluido de los camiones mineros



### **2.8.3. Implicacion practica**

El presente proyecto si se puede implementar debido porque se cuenta con la tecnologia en los paneles solares y no tiene un elevado costo, con respecto a los PLC se cuenta con una gran variedad y se acoplan a las necesidad del proyecto, con respecto a los costos no son elevados.

### **2.9. Limitaciones de la Investigación.**

El presente proyecto puede ser aplicado en diferentes minas, aparte puede seguir mejorando las necesidades que se requiera por ejemplo en la comunicación en la forma de funcionamiento según la programación que se desarrolle

El proyecto podrá ser instalado en las vías de tránsito de maquinaria pesada o áreas donde se desee regar, debido a su funcionamiento autónomo.

Se desarrollara un programa que controle las válvulas una vez terminado de programar se realizaran pruebas en el programa para verificar sus funcionamiento, los sensores serán simulados con señales de corriente de 4ma a 20ma y de esta forma ver el funcionamiento del proyecto.

La presente investigación no presenta límites en cuanto a la etapa de control, esto se debe a que se cuenta con la tecnología que nos puede brindar un buen control y un funcionamiento continuo del sistema.

Para la parte de hidráulica se desarrollara un auto mantenimiento esto será con el fin de evitar la obstrucción del en las líneas de agua para los aspersores.

## **Capítulo III**

### **3. Marco teórico**

#### **3.1. Antecedentes.**

Los siguientes trabajos de dimensionamiento y diseño:

Varas (2013). “Diseño de un sistema electrónico para riego de césped de jardín empleando un sensor de humedad de suelos y comunicación inalámbrica” Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.

Martínez (2002). “Diseño e implementación del sistema de automatización para integrar los procesos de un riego tecnificado” Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Alata (2015) “Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares” Universidad Nacional de Ingenierías, Lima-Perú.

Martínez (2015) “Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.” Universidad Carlos III de Madrid, Madrid-España.

Romero (2015) “Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su situación en las regiones de la costa y sierra del ecuador.” Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona-España.

Guash (2003) “Modelado y análisis de sistemas fotovoltaico” Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona –España.

Fueron desarrollados en el capítulo 1, sirvieron de guía para poder determinar los principales factores en el diseño de un sistema de riego autónomo, por ejemplo realizar la investigación y selección correcta de los sensores, el PLC y de la importancia del correcto dimensionamiento de los paneles solares.

Agreda (2017) la vía es una faja de terreno con un plano de rodadura especialmente dispuesto para el tránsito adecuado de vehículos y está destinada a comunicar entre sí los frentes de explotación con los botaderos y centros de acopio, además de los

diferentes simuladores (PVSYST y el PV SPS) y de los métodos para calcular la irradiación solar global durante un determinado tiempo.

La importancia de conocer el área geográfica para poder determinar el ángulo de inclinación de los paneles solares y en qué época del año se tiene baja irradiación solar global.

## **3.2. Vías de tránsito**

### **3.2.1. Definición de vía**

Agreda (2017) la vía es una faja de terreno con un plano de rodadura especialmente dispuesto para el tránsito adecuado de vehículos y está destinada a comunicar entre sí los frentes de explotación con los botaderos y centros de acopio.

Azabache (2006) el acarreo de material es la actividad de más incidencia operativa de todo el ciclo productivo de minería a cielo abierto, puesto que es en la que intervienen más equipos que componen flotas para traslado de material estéril o con contenido mineral según sea el caso. En el acarreo, es de especial consideración el estado de las vías por donde circulan los equipos, debido a que el buen o mal estado de conservación que presentan las vías juega un papel crucial para la operación y la velocidad de los ciclos de acarreo, considerando que un retraso o una mejora de estos ciclos puede traer como consecuencia el cumplimiento o incumplimiento de las metas de producción establecidas de manera diaria, mensual, anual, etc.

### **3.2.2. Los tipos de vías**

#### **Vía de Acarreo Estándar**

Marinovich (2006) según el diseño de vías de acarreo sobre el cual se basa la mina, estas deben tener tres veces el ancho del equipo de acarreo más grande sin considerar cunetas y muros para encontrarse en condiciones estándar, que permita el libre tránsito de 2 volquetes en simultáneo en sentidos contrarios. Lo mismo ocurre con los muros de seguridad que siempre deben tener la altura mínima de las  $\frac{3}{4}$  partes de la altura del neumático del equipo más grande que circula por la vía. La capa de rodadura de la vía debe permanecer uniforme, sin presencia de deformaciones, empozamientos o cualquier otro elemento que no

asegure un tránsito continuo. Las cunetas deben permanecer limpias, libres de material saturado, de tal manera que se logre una buena circulación de las aguas de escorrentía que puedan presentarse en la vía.

Azabache (2006) una vía de acarreo se vuelve subestándar luego de perder sus características de diseño originales o luego de perder su transitabilidad, lo que genera retrasos en el proceso productivo y genera condiciones, que de no ser solucionadas a tiempo, pueden ser causales de un potencial accidente o incidente. Generalmente, la combinación de precipitaciones sobre las vías de acarreo y un mantenimiento extemporáneo son causa de su deformación y sub estandarización.

- **Vías de acarreo con empozamientos de agua.** Los empozamientos de agua en las vías de acarreo son producto de la tracción de los neumáticos de los equipos de acarreo sobre el terreno, que deja huellas que se van haciendo cada vez más pronunciadas sobre la capa de rodadura de la vía esto usualmente ocurre en la época de lluvia. Son consecuencias también de un mal lastrado con material no adecuado, el cual se satura al entrar en contacto con el agua, y en vez de lograr una vía compactada solo logra tapar un desnivel aparente y momentáneamente. Son un riesgo potencial para el daño de neumáticos, ya que el operador al no poder apreciar lo que se encuentra por debajo del empozamiento y asumir el riesgo de pasar, podría encontrarse con una piedra puntiaguda o cualquier otro objeto que cause el daño en neumático.

- **Vías encalaminadas.** Son vías cuya capa de rodadura presenta rugosidades con el aspecto de una calamina, las cuales provocan que el desplazamiento del equipo de acarreo sobre la vía sea brusco presente pequeñas variaciones y no conserve una continuidad en cuanto a las velocidades del vehículo.

- **Vías resbalosas.** Este tipo de vías subestándar son generadas por las precipitaciones propias del clima severo inherente a la ubicación geográfica de las operaciones. Al caer una llovizna sobre la vía, las partículas de agua entran en contacto con el polvo presente en ellas formando una película que dificulta

la tracción en los neumáticos de los equipos, haciéndolos patinar o resbalar. Generalmente se requiere la acción de cisternas de agua o motoniveladoras para eliminar esta condición de las vías.

### **Tipo de Vías según Sección**

- **Vía de acarreo con sección “Lomo de Corvina” o Crown.** Esta vía posee en su sección efectivamente un lomo en el medio de la misma, produciendo el efecto de caída del agua de lluvia hacia ambos lados, debiendo existir por lo tanto dos cunetas, una a cada lado de la vía.
- **Vía de acarreo con sección doble vía o con berma intermedia,** su uso está dado para vías de acarreo en doble sentido con ancho operativo al límite para 2 camiones. La berma intermedia se utiliza como un control de seguridad debido a que ayudará a que no exista invasión de un carril a otro y de esta forma evitar accidentes, utilizándose especialmente en curvas.

## **3.3. Maquinaria pesada de mina**

### **3.3.1. Definición de maquinaria pesada**

Caterpillar (2014) los camiones mineros llamados también camiones rígidos se utilizan para el transporte de cualquier tipo de material, sea liviano, pesado o de gran tamaño como el carbón, roca de voladura, etc. Su capacidad va desde 20 toneladas, 300 toneladas a más, para casos especiales de gran minería. La potencia de los camiones mineros se consigue con motores diésel con impulsión mecánica o eléctrica. Presenta una gran estabilidad y confort para el operador, debido a su bajo centro de gravedad, su suspensión hidroneumática, la longitud de su chasis y el ancho entre ruedas.

### **3.3.2. Los tipos de maquinaria pesada**

Latifah (2107) los camiones son un medio de transporte terrestre que puede transportar una amplia gama de bienes, transportar arena, piedras, cemento y otros. De hecho, el tamaño del camión se considera un transporte de gran tamaño, incluso el más grande, a continuación, se muestran los camiones más grandes del mundo:

### **Camión mina Liebherr T 282B**

Liebherr T 282B es el camión minero más grande creado en Alemania. El camión volquete tiene un cuerpo muy grande. En el 2004 fue cuando se inició con el diseño del camión minero Liebherr T 282B. Este camión de 203 toneladas puede transportar alrededor de 365 toneladas y producir unos 3650 caballos de fuerza, su longitud: 14.5m de largo, altura: 7.4m de altura, distancia entre ejes: 6.6m, velocidad máxima: 40 mph o 65 kph.



Figura 1: Camión Liebherr T 282B

Fuente: [http://amtiss.com/wp-content/uploads/2017/12/LIEBHERR\\_T282B.jpg](http://amtiss.com/wp-content/uploads/2017/12/LIEBHERR_T282B.jpg)

### **Camión Mina Belaz 75710**

Belaz 75710, con una capacidad de carga útil de 496 toneladas, es el camión volquete minero más grande del mundo. El camión volquete fue lanzado por la empresa bielorrusa Belaz en octubre de 2013 por orden de una empresa minera rusa. Las ventas de los camiones Belaz 75710 estaban programadas para comenzar en 2014. (Latifah, 2017)

El camión tiene 20,6m de largo, 8,16m de alto y 9,87m de ancho. El peso en vacío del vehículo es 360 toneladas. Belaz 75710 presenta ocho neumáticos sin cámara Michelin de gran tamaño y dos motores diésel turboalimentados de 16 cilindros. La potencia de salida de cada motor es de 2,300HP. La potencia del motor se canaliza al suelo a través de una transmisión electromecánica alimentada por corriente alterna. Cada motor aporta 2,300 caballos de fuerza con

una potencia total de 4,600 caballos de fuerza con un torque combinado de 13,738 libras-pie (equivalente a 18,626Nm) La máquina puede hacer funcionar el vehículo con una velocidad máxima de 64 km/h. (Latifah, 2017)



Figura 1: Camión Belaz 75710

Fuente: <http://amtiss.com/wp-content/uploads/2017/12/belaz2.jpg>

### **Camión mina Westech T282C**

Westech T282C diseñado por una compañía estadounidense llamada Westech. Capaz de transportar carbón hasta 474 metros cúbicos. (Latifah, 2017)



Figura 2: Camión Westech T282C

Fuente <http://amtiss.com/wp-content/uploads/2017/12/westech-7282C.jpg>

### **Camión mina Caterpillar 797F.**

Latifah (2017) informo “Caterpillar 797F”, es el último modelo de camiones volquete clase 797 fabricados y desarrollados por Caterpillar, es el segundo camión volquete minero más grande del mundo. El camión ha estado en servicio

desde 2009. Puede transportar 400 toneladas de carga útil en comparación con sus modelos anteriores 797B y la primera generación 797, con capacidades de carga útil de 380 toneladas y 360 toneladas respectivamente”.

El camión volquete tiene un peso operativo bruto de 687.5 toneladas y mide 14.8m de largo, 6.52m de alto y 9.75m de ancho. Está equipado con seis neumáticos radiales Michelin XDR o Bridgestone VRDP y un motor diésel turboalimentado Cat C175-20 de cuatro tiempos y funciona a una velocidad máxima de 68 km/h.



Figura 3: Camión Caterpillar 797F

Fuente: <http://amtiss.com/wp-content/uploads/2017/12/caterpillar-797F.jpg>

### **TEREX 33-19 Titan**

Latifah (2017) presentado por el fabricante estadounidense Terex en 2008, también es un camión volquete de minería de clase superior con una capacidad de carga útil de 400t. El vehículo se renombró como Bucyrus MT6300AC, luego de la adquisición de la división de equipos de minería de Terex por parte de Bucyrus en 2010.

El peso bruto de operación del vehículo es de 660t. El cuerpo del camión tiene 7,92m de altura y 14,63m de longitud. El vehículo está equipado con un motor diésel de cuatro tiempos, con 20 cilindros que acciona un alternador eléctrico de corriente alterna, que a su vez suministra energía al motor eléctrico instalado en cada lado del eje trasero. La potencia nominal del motor es de 3.750 CV. El vehículo puede moverse a una velocidad máxima de 64 km/h.





Figura 4: Terex 33-19 Titan

Fuente: <http://amtiss.com/wp-content/uploads/2017/12/terex-1024x576.jpg>

#### **Komatsu 980E-4.**

Latifah (2017) presentado por Komatsu American Corporation en septiembre de 2016, tiene una capacidad de carga útil de 400t. Es el camión volquete de accionamiento eléctrico más grande de Komatsu, es adecuado para operaciones mineras a gran escala.

El peso bruto de operación del camión es de 625 toneladas, mientras que su altura de carga y su ancho son de 7,09m y 10,01m, respectivamente. El vehículo está propulsado por un motor Komatsu de cuatro tiempos. Utiliza el sistema de accionamiento eléctrico de CA con transistor bipolar de doble puerta aislada IGBT y puede funcionar a velocidades de hasta 61 km/h.

#### **3.3.3. La importancia de la maquinaria en mina**

CAMIPER (2019) indica que todo proceso minero debe estar dirigido al aumento de la producción y la reducción de costos. Para ello es importante la optimización y selección precisa de los equipos.

Las actividades de carga y transporte al ser interrelacionadas, pueden tener consecuencias en el costo. Por eso es importante poner énfasis en la selección de la maquinaria minera.

“La mejor información serán los costos en el caso de tomar una decisión, ya que el valor de cada componente de la labor puede ser monitoreado y optimizado. En la minería se debe considerar como un factor estratégico la selección de maquinaria, ya

que las decisiones que se tomen sobre estas generan impacto sobre la viabilidad de la empresa”. (Tulcanazo, 2019, p. 2)

CAMIPER (2019) para que la productividad aumento es necesario que se haga una evolución en el diseño de los equipos. Es por ello que hay el aporte de empresas proveedoras como L&H Omega que desarrolló un sistema de rodado para las palas de cuerda eléctrica que prolongan en 30% la duración en el área de trabajo.

En la minería a tajo abierto la maquinaria resulta indispensable, esta actividad requiere de equipos grandes y que su costo por hora es elevado, para poder obtener una alta productividad se debe hacer una correcta asignación de camiones y palas.

CATERPILLAR (2014) “ahora se tiene un camión para cada sitio o aplicación con una línea completa de herramientas de carga perfectamente combinadas.” (p. 2)

Siendo el objetivo de Caterpillar de poder brindar el costo por tonelada más bajo posible durante su ciclo de vida:

- Mayor velocidad en pendiente.
- Una gran ventaja de peso vacío que garantiza la máxima carga útil.
- Mayor retardo y mejor frenado para operadores más seguros y seguros.
- Alta fiabilidad.
- Larga primera vida y la oportunidad de reconstruir para vidas adicionales.
- Integración total de Cat, resulta en sistemas y rendimiento altamente eficientes.

### **3.4. Mina**

#### **3.4.1. Definición de mina**

AECO-AT (2019) la minería a cielo abierto remueve la capa superficial o sobrecarga de la tierra (tierra fértil) para hacer accesibles los extensos yacimientos de mineral de baja calidad. Los modernos equipos de excavación, las fajas

transportadoras, la gran maquinaria, el uso de nuevos insumos y las tuberías de distribución permiten hoy remover montañas enteras en cuestión de horas, haciendo rentable la extracción.

- Minería metálica. Se extraen vetas de elementos metálicos (puros o no) de valor siderúrgico, como el cobre, oro, plata, aluminio, plomo, mercurio, hierro, etc.
- Minería no metálica. Se extraen materiales útiles para la construcción, la joyería y otros usos, de naturaleza no metálica, como son la arcilla, mármol, granito, esmeraldas, diamantes, mica, etc.
- Minería energética. Se extraen hidrocarburos y minerales de alto valor energético, como el carbón mineral, el gas natural o el petróleo.

### **3.4.2. Los tipos de mina**

Uriarte (2019) la extracción minera es una de las principales actividades económicas de numerosos países en el mundo. Se trata de una fuente de recursos vital para la mayoría de las industrias, que sirve de materia prima en la elaboración de los más diversos objetos y maquinarias.

Existen diversos tipos de minería dependiendo del lugar, del elemento a minar y de las condiciones en que se desea extraerlo. Algunas de ellas tienen consecuencias ambientales graves.

La actividad minera se clasifica en base a su escala:

- Gran minería o mega minería. Es llevada adelante por grandes compañías trasnacionales de minería, con enormes capitales e infraestructuras, tecnología de punta, mecanismos de fundición y transporte. Generan colosales volúmenes de minerales, generalmente para exportación.
- Mediana minería. Se incluye aquí a diversos rangos de industrias mineras nacionales que abastecen al mercado interno de un país, variando de acuerdo a su capital, mano de obra, disponibilidad del recurso, etc.

- Pequeña minería. Aquella que se realiza en términos locales, con yacimientos pequeños y operaciones rápidas de extracción. Requieren una menor infraestructura y ofrece mayores ratios de empleo en la población.

Uriarte (2019) minería a cielo abierto o minería de superficie, consiste en la eliminación de las capas superiores de roca, junto con la vegetación de la zona, para exponer los yacimientos minerales enterrados. El resultado es una gran rajadura en el suelo (Open Pit Mining o minería de pozo abierto), una abertura sobre un yacimiento concreto (explotación por canteras) o la modificación radical de la topografía de la zona (Mountaintop mining) a través de la desaparición de montañas.

Ingeoexpert (2018) la minería a cielo abierto es rentable cuando el yacimiento no es muy profundo o cuando el terreno es arenoso o delicado, de modo que la minería subterránea no sea posible. Los costos de trabajo son menores, tanto en excavación como en transporte, y permiten utilizar maquinaria grande. No precisa de iluminación artificial y permite el uso de explosivos de cualquier tipo, sin olvidar que la seguridad y la higiene de los trabajadores son muy importantes.

Ingeoexpert (2018) minado subterráneo. Explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno. Para la selección de este método se deben de considerar varios factores como resistencia del mineral y de la roca encajonante; tamaño, forma, profundidad, ángulo de buzamiento y posición del depósito; continuidad de la mineralización, etc.

AECO-AT (2019) minería subterránea. También llamada minería de subsuelo, consiste en penetrar la roca hacia el subsuelo y crear galerías y túneles que conduzcan a los yacimientos. Puede consistir en accesos horizontales (drift mining), accesos diagonales (slope mining) o verticales (shaft mining). Este tipo de minas tienen la desventaja de que pueden colapsar y sepultar a los mineros en su interior. En términos comparativos, la maquinaria que se usa en la minería subterránea es mucho más pequeña que la que se utiliza a cielo abierto, debido a las limitaciones que impone el tamaño de las galerías y demás labores. Las labores características de este sistema de explotación son los: túneles, cavernas, bocamina o emboquille, cuartel, galería, pozo, chimenea, etc.

Existen distintos métodos de explotación que se dividen en soportados por pilares, soportado por relleno y de hundimiento.

- Rebajes naturalmente soportados. Excavaciones en las cuales las cargas ejercidas por la roca sobre la abertura son soportadas por las paredes o pilares labrados de la misma roca.
- Rebajes abiertos.
- Salones y pilares.
- Tumbe por subniveles.
- Tumbe sobre carga.
- Rebajes abiertos con trancas horizontales.
- Rebajes artificialmente soportados. Obra en la cual una parte significativa de la carga o del peso de la roca circundante, es sostenida por algún soporte artificial (puntales, marcos, rellenos, etc.).
- Corte y relleno.
- Cuadros conjugados.
- Frentes largas.
- Frentes cortas.
- Rebanadas descendentes.

Rebajes de hundimiento, aplicables a depósitos de minerales de tipo masivo con grandes desarrollos horizontales susceptible de colapsarse para seguir el hundimiento del mineral conforme sea removido y extraído.

- Hundimiento de subniveles.
- Hundimiento de bloques y paneles.

Ingeoexpert (2018) métodos especiales (métodos indirectos). Sistemas que emplean técnicas de disolución de los valores contenidos en el yacimiento, no es necesario penetrar físicamente en el yacimiento para la extracción.

- Proceso Frasch.
- Disolución con agua caliente.
- Lixiviación.

AECO-AT (2019) será importante considerar en la decisión de explotar una mina por métodos subterráneos o superficiales las actividades de barrenación, voladura, cargado y transporte de material rocoso objeto de la explotación, incluyendo la trituración del mineral. También se deberá tomar en cuenta las pérdidas en recuperación de mineral ya que son mayores en el minado subterráneo que en el superficial, afectando la vida productiva de una mina.

### **3.4.3. El proceso de extracción de la mina**

Uriarte (2019) la explotación minera involucra las siguientes etapas:

- **Prospección.** La búsqueda de yacimientos mediante mapas geológicos, fotografía aérea, imágenes satelitales y diversas técnicas exploratorias. Cuando se descubre un cuerpo mineral conveniente, se determina su tamaño, su cantidad y su calidad.
- **Exploración.** Dependiendo del yacimiento, diversos métodos de explotación pueden implementarse, tomando en cuenta la topografía, la facilidad de extracción, etc. Una vez definidos los términos técnicos se procede a perforar hasta alcanzar el yacimiento y luego romper mecánicamente la veta del mineral para extraer trozos del mismo.
- **Separación.** Estos trozos minerales se criban, clasifican, lavan y luego trituran para separarlos de los residuos de roca, empleando diversos mecanismos: magnéticos, gravitacionales o simplemente por selección manual.
- **Tratamiento.** Dependiendo de la naturaleza del mineral deseado, sus fragmentos ya separados pueden entonces tratarse para prepararlos para su viaje hacia el destino, ya sea mediante técnicas de calcinación, solución y precipitación, lixiviación, etc.
- **Transporte.** El mineral minado y tratado es llevado hacia sus sitios de consumo industrial o de comercialización directa.

Es decir que, por un lado, la minería como industria emplea una enorme cantidad de mano de obra en las minas y en el transporte. Pero por otro lado es el punto inicial de una larga cadena de empleo y de flujo financiero en el mundo. Además, es la fuente

de los elementos más diversos que existen, ya sea con fines industriales, bélicos o energéticos.

### **3.5. Sensores temperatura y humedad**

#### **3.5.1. Definición de sensores temperatura y humedad**

Los sensores emulan el sistema sensorial de los seres humanos, de este modo diferentes máquinas se valen de sensores para interactuar con el medio que les rodea. (Gardey, 2010)

Un sensor es utilizado también para obtener información del entorno. De este modo, un termómetro es un sensor que proporciona información numérica sobre la temperatura de un ambiente dado.

Los sensores hoy en día hacen parte de nuestra vida cotidiana. Se tiene contacto permanente con diferentes tipos de sensores que ayudan a facilitar las tareas del día a día.

De este modo, las puertas automáticas, los paneles solares, nuestros teléfonos inteligentes, y demás artefactos, están provistos de sensores que ayudan a interactuar de una mejor manera con el medio. (Agarwal, 2017)

Gardey (2010) estos dispositivos tienen la capacidad de detectar estímulos externos ya sean poder en magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) o químicas y transformarlas en magnitudes eléctricas.

Los sensores, en definitiva, son artefactos que permiten obtener información del entorno e interactuar con ella.

Esto se realiza en tres fases:

- ✓ Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- ✓ La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.

- ✓ El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Por ejemplo, cuando se desarrollan computadoras capaces de responder a órdenes de voz, se les provee de micrófonos, que son sensores capaces de captar las ondas sonoras y transformarlas. Si estos sensores están conectados con otros circuitos, la máquina podrá reaccionar al estímulo de acuerdo a lo requerido por el usuario. Así como los seres humanos apelan a su sistema sensorial para dicha tarea, las máquinas y los robots requieren de sensores para la interacción con el medio en el que se encuentran.

De la fuente (1994) para conseguir que el robot realice su tarea con la adecuada precisión es preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado como del estado de su entorno.

#### **Dos tipos de sensores:**

- ✓ Sensores internos: sensores integrados en la propia estructura mecánica del robot, que dan información del estado del robot: fundamentalmente de la posición, velocidad y aceleración de las articulaciones.
- ✓ Sensores externos: dan información del entorno del robot: alcance, proximidad, contacto, fuerza, etc. Se utilizan para guiado de robots, para identificación y manipulación de objetos.

#### **3.5.2. Tipos de sensores**

Mejía (2019) los 8 tipos de sensores principales, existen diferentes tipos de sensores utilizados para traducir la información que llega del exterior. Este impulso usualmente pasa a una unidad de control en donde es analizado y transformado con el objetivo de generar una reacción o respuesta.

#### **Tipos principales de sensores**

Existen múltiples tipos de sensores cuya función varía de acuerdo al tipo de estímulo que pueden detectar. (Garage, 2017)



✓ Ultrasonico.

Son sensores utilizados para detectar la proximidad física de un objeto con el fin de evitar un roce o choque mecánico. Operan enviando una onda de sonido, que posteriormente choca contra una superficie y se devuelve, de este modo, el sensor mide el tiempo que tarda en regresar la onda y así calcula la distancia entre objetos. Es un tipo de sensor que trabaja únicamente en espacios donde hay presencia de aire, ya que el desplazamiento de la onda de sonido solo se puede dar en este medio. Por otro lado, es útil para detectar objetos sin importar su estado (sólido o líquido) o su color, por tanto, son excelentes para efectuar labores de rastreo o medición de distancias. (Transductores, 2017)

✓ Velocidad.

Los sensores utilizados para detectar la velocidad de un objeto o vehículo se conocen como “velocímetros”. Mejía (2019) existen diferentes tipos de sensores para detectar la velocidad, como sensores de rueda, velocímetros para vehículos, LIDAR (por su nombre en inglés “Light Detection and Ranging”), radares de velocidad de piso, radares doppler, indicadores de velocidad, tubos pitot, entre otros. Estos sensores suelen ser utilizados para la sincronización de motores en diferentes industrias. También son útiles para controlar la velocidad o revoluciones por minuto de una máquina dada. Por otro lado, en las carreteras es común ver sensores de velocidad cuya labor es la de detectar la velocidad de los vehículos que transitan por dicha carretera.

✓ Piroeléctrico.

Un sensor piro eléctrico o sensor PIR es aquel que se usa para medir la radiación de luz infrarroja emitida por un objeto dentro de su campo. Cada objeto que tiene una temperatura por encima de los cero grados, produce energía calórica en la forma de radiación. Esta radiación emite ondas infrarrojas que son invisibles para el ojo humano, pero pueden ser captadas por los sensores PIR. Los sensores PIR se clasifican de acuerdo a su ángulo

(la amplitud del área que pueden abarcar) en relación a la cantidad de elementos en movimiento que pueden detectar dentro de dicha área. Son sensores comúnmente utilizados en aplicaciones cotidianas, como el sistema de apertura de las puertas automáticas y en general todos los sistemas que reaccionan frente a un movimiento. Cuando un cuerpo se mueve, una señal infrarroja es emitida. Cuando esta señal es detectada por un sensor PIR, éste envía una señal a un microcontrolador, que se encargará de traducir dicha señal en una respuesta.

✓ Luz.

Los sensores de luz son sensores reflectivos que operan por intercepción de la señal. Operan haciendo uso de una célula receptora del estímulo enviado por una fuente luminosa, que puede ser una lámpara, un LED, un diodo láser, entre otros. Existen muchos tipos de células foto-receptoras, cada uno de estos tipos reacciona de acuerdo a la intensidad de la señal lumínica recibida. Generalmente, la señal lumínica puede ser convertida en energía eléctrica, al ser capturada por celdas fotovoltaicas. Este es el caso de los paneles solares, los cuales capturan los electrones libres presentes en la luz del sol, y los transforman en una corriente eléctrica que puede ser utilizada para energizar un circuito. (Olivia, 2010)

✓ Contacto.

Los sensores de contacto son aquellos que utilizan interruptores que se activan haciendo uso de actuadores físicos. Algunos robots de uso industrial utilizan este tipo de sensores a manera de “bigotes de gato” o alambres finos que permiten detectar la proximidad de los elementos. Los sensores de contacto son útiles para evitar golpes entre objetos. Por esta razón, son comúnmente utilizados en la industria automovilística en los paragolpes traseros de los autos.

✓ Sonido.

Este tipo de sensor tiene la capacidad de captar los sonidos del ambiente por medio de un sistema de sonar o micrófono. Son usualmente utilizados para recibir estímulos como órdenes de forma remota o para medir distancias con base a la percepción de la onda de sonido. Los sensores de sonido funcionan de forma similar a los sensores ultrasónicos, ya que la onda de sonido debe propagarse por el aire presente en el medio antes de poder ser detectada por el sensor.

✓ Sensores temperatura.

Las pt100 son sondas que miden la temperatura, la cual pertenece a la familia de los RTD que proviene de las siglas en inglés Resistance Temperature Detector, las RTD son fabricadas de cobre (Cu) níquel (Ni) y de platino (Pt) siendo esta última la más usada por ejemplo para la pt100 cuando se encuentra a cero grados centígrados la pt100 tiene una resistencia de 100 ohmios, mediante que la temperatura se vaya elevando la resistencia aumenta esta variación de la resistencia es casi lineal. Estas RTD son unas bobinas muy pequeñas las cuales tienen un núcleo de cerámico o de vidrio, las RTD son fabricadas:

- Las RTD de 2 hilos su rango de error es aceptable en algunos procesos que no requiere tener un control preciso de sus procesos.
- Las RTD de 3 hilos estos son los más usados en casi todos los procesos, porque tienen un grado de error bajo.
- Las RTD de 4 hilos estas son usadas en los laboratorios cuya precisión es más alta lo cual lo aumenta su costo.

✓ Sensor de humedad.

Los sensores de humedad miden el nivel de líquido o la humedad relativa en un área dada, permiten controlar la humedad del aire y la temperatura. Las magnitudes medidas por el sensor de humedad se transforman en una señal eléctrica. La humedad es un fenómeno natural, se presenta a nivel

molecular y está relacionada con la cantidad de moléculas de agua presentes en una determina sustancia o área, se puede encontrar en estado sólido o gaseoso.

Tipos de sensores de humedad, existen diferentes tipos de sensores de humedad, en este caso se mencionan conforme el principio físico para realizar la medición correspondiente.

- **Mecánicos**, son aquellos que aprovechan los cambios de dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad, por ejemplo: el cabello, fibras orgánicas o sintéticas.
- **Conductividad**, ya que el agua es buena conductora de corriente es posible que a través de unas rejillas de oro circule una corriente eléctrica y según la medida de corriente es posible deducir el valor de la humedad.
- **Capacitivos**, se debe al cambio de la capacidad que sufre un capacitor o condensador en presencia de la humedad.
- **Infrarrojos**, lo que hacen es absorber parte de la radiación que contiene el vapor de agua.
- **Resistivo**, basados en un principio de conductividad de la tierra, cuanta más cantidad de agua hay en la muestra, más alta es la conductividad de la tierra.

✓ Sensor de presión.

La presión se define como la fuerza que ejerce un líquido o un gas sobre una superficie. Normalmente se mide en unidades de fuerza por unidad de superficie. Las unidades que se utilizan habitualmente son el pascal (Pa), el bar (bar), el N/mm<sup>2</sup> o la psi (libras por pulgada cuadrada).

Principios de funcionamiento de los sensores de presión: los sensores de presión utilizan distintas tecnologías para proporcionar resultados precisos.

Los **sensores de presión con tecnología de galgas extenso métricas** tienen un elemento de detección de la presión al que se adhieren galgas extenso métricas metálicas o en el que se aplican galgas de película estrecha mediante pulverización. Este elemento de medición puede ser una membrana o, en el caso de los cuerpos de medición con galgas de lámina metálica, también se puede utilizar un elemento de tipo tubular. Las principales ventajas de este diseño de tipo tubular monolítico son un aumento de la rigidez y la capacidad de medir presiones muy elevadas (hasta 15.000 bares). La conexión eléctrica normalmente se establece a través de un puente de Wheatstone, que proporciona una buena amplificación de la señal y resultados de medición precisos y constantes.

Los **sensores de presión capacitivos** utilizan una cavidad de presión y una membrana para formar un condensador variable. La membrana se deforma cuando se aplica presión y la capacidad se reduce de manera proporcional. Este cambio en la capacidad se puede medir eléctricamente y correlacionarse con la presión aplicada. Este tipo de sensores están limitados a presiones bajas, hasta alrededor de 40 bares.

Los **sensores de presión piezorresistivos** consisten en una membrana (principalmente de silicio) con galgas extenso métricas integradas que detectan la deformación derivada de la presión aplicada. Estas galgas extenso métricas se suelen configurar formando puente de Wheatstone, para reducir la sensibilidad e incrementar la potencia de la salida. Debido al material utilizado, pueden utilizarse hasta presiones en torno a 1000 bar.

A diferencia de las tecnologías antes señaladas, cuyo principio de funcionamiento se basa en la deflexión de un cuerpo de medición, **los sensores de presión resonantes** utilizan los cambios en la frecuencia de resonancia en un mecanismo de detección para medir el esfuerzo provocado por la presión aplicada. Dependiendo del diseño de estos sensores, el elemento resonante puede estar expuesto al medio. En tal caso, la frecuencia de resonancia depende de la densidad del medio. En algunos casos, estos sensores son sensibles a los impactos y las vibraciones.

**Tipos de medidas de presión,** se pueden utilizar varias propiedades para clasificar los sensores de presión: el intervalo de presión que miden, el rango de temperatura de funcionamiento o el tipo de presión que miden.

La presión puede ser absoluta, manométrica, relativa normalizada o diferencial.

Los **sensores de presión absoluta** miden la presión con respecto a una cámara de referencia (cerca al vacío).

Los **sensores de presión manométrica** (o sensores de presión relativa) se emplean para medir la presión en relación con la presión atmosférica presente en ese momento.

Los **sensores de presión relativa normalizada** (o de referencia constante) son como los sensores de presión relativa que miden la presión con respecto a una presión fija, en lugar de con respecto a la presión atmosférica existente.

Los **sensores de presión diferencial** determinan la diferencia entre dos presiones y se pueden utilizar para medir caídas de presión, niveles de fluidos y caudales.

La **ventaja más evidente de un sensor de presión absoluta** radica en que siempre mide en relación con la misma presión de referencia (el vacío); por lo tanto, no se ve afectado por los cambios en la presión atmosférica y, además los cambios de temperatura influyen en menor medida en su funcionamiento.

### **3.6. Controladores lógicos programables**

El Controlador Lógico Programable (PLC) apareció como solución al control sistemas complejos que requerían precisión en su proceso. Por lo tanto, se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. Al PLC en la entrada se conectan los finales de carrera, pulsadores, y sensores, en la salida se conectan los actuadores, bobinas, lámparas, pequeños receptores, etc.

### **3.6.1. Definición de PLC**

#### **Definición de PLC**

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra) que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que van asociados a la maquinaria que desarrolla procesos de producción y controlan su trabajo.

Como puedes deducir de la definición, el PLC es un sistema, porque contiene todo lo necesario para operar, y es industrial, por tener todos los registros necesarios para operar en los ambientes hostiles que se encuentran en la industria.

Los PLC se distinguen de otros controladores automáticos, en que pueden ser programados para controlar cualquier tipo de máquina, a diferencia de otros controladores (como por ejemplo un programador o control de la llama de una caldera) que, solamente, pueden controlar un tipo específico de aparato.

Además de poder ser programados, son automáticos, es decir son aparatos que comparan las señales emitidas por la máquina controlada y toman decisiones en base a las instrucciones programadas, para mantener estable la operación de dicha máquina.

#### **Funciones del PLC**

- ✓ Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- ✓ Tomar decisiones en base a criterios pre programado.
- ✓ Almacenar datos en la memoria.
- ✓ Generar ciclos de tiempo.
- ✓ Realizar cálculos matemáticos.
- ✓ Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- ✓ Comunicarse con otros sistemas externos.

### 3.6.2. Los tipos de PLC

#### Clasificación de los PLC

Prieto (2007) el PLC Nano generalmente es un PLC de tipo compacto, es decir, que integra la fuente de alimentación, la CPU y las entradas y salidas que puede manejar un conjunto reducido de entradas y salidas, generalmente en un número inferior a 100. Este PLC permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

PLC Compacto, tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos (alrededor de 500 entradas y salidas), su tamaño es superior a los PLC tipo Nano y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- ✓ Entradas y salidas análogas.
- ✓ Módulos contadores rápidos.
- ✓ Módulos de comunicaciones.
- ✓ Interfaces de operador.
- ✓ Expansiones de entrada y salida.

PLC Modular, se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final. Estos son:

- ✓ El Rack.
- ✓ La fuente de alimentación.
- ✓ La CPU.
- ✓ Los módulos de entrada y salida.

Estos tipos de PLC existen desde los denominados Micro-PLC que soportan gran cantidad de entradas y salida, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de entradas y salidas.

UNED (2019) el PLC de tipo montaje en rack, son aquellos que prácticamente tienen las mismas capacidades y funciones que el PLC modular. Sin embargo, existen algunas diferencias en el bus o en el rack dónde se



colocan los módulos del PLC. El rack contiene ranuras para los módulos y un sistema de bus integrado para intercambiar información entre los diferentes módulos. La mayoría de los módulos PLC no tienen sus propias cajas, disponen solamente de un panel frontal con una interfaz-HIM. La ventaja principal es que pueden permitir un intercambio más rápido de los datos entre los módulos y el tiempo de reacción por parte de los módulos es menor.

El PLC con panel Operador y Controlador Lógico Programable (OPLC) posee una interfaz HMI para su funcionamiento y una monitorización de los procesos automáticos y las máquinas. El HMI consiste principalmente en un monitor y un teclado o una pantalla táctil. El monitor puede ser bien de tipo texto o gráfico. La ventaja principal de este sistema respecto a un PLC con un panel operador aparte es que no es necesario programar el panel de forma separada. Toda la programación se realiza por medio de una herramienta software, lo que permite economizar los gastos del desarrollo del sistema.

Otros tipos de PLC:

- ✓ **Con ordenador industrial (PC industrial)** son aquellos que combina un PC normal y un PLC en un único sistema. La parte de PLC puede estar basada en hardware (PLC de tipo slot) o basadas en un PLC con software virtual (PLC de tipo software). Los ordenadores industriales que se utilizan son de tamaño medio y tienen una gran cantidad de aplicaciones en la automatización donde se requiere un control rápido de los procesos, así como una recopilación rápida de los datos y un intercambio con el OPC y/o el servidor SQL (estos pueden estar integrados en el PC), y existe también el requerimiento de un fácil funcionamiento y monitorización y un ciclo de vida largo. Los PCs industriales utilizan, a menudo, un bus de campo para el control de los procesos y/o maquinaria automatizada. Algunos de ellos tienen incorporadas entradas/salidas, así como otro tipo de partes modulares del PLC. Sin embargo, la desventaja es que puede suceder que, tras un periodo de tiempo, no se encuentren recambios de ciertas partes (memoria, procesador, tarjeta de video etc.) debido a que han dejado de producirse.

- ✓ **PLC de tipo de ranura** se trata de una tarjeta especial, que posee todas las funciones de cualquier CPU de un PLC normal. Se sitúa en el (en una ranura vacía de la placa base), que permite intercambiar directamente la información entre las aplicaciones-HIM del PC existente y/u otras aplicaciones software. La ranura de la tarjeta del PLC tiene por lo menos un canal de comunicación para conectar con el bus de campo (para conectar con unas entradas/salidas remotas o con otros dispositivos PLC).
- ✓ **PLC de tipo software**, se trata de un PLC virtual, que trabaja en un ordenador personal. Para controlar las máquinas o procesos se utilizan los puertos de comunicación del PC (Ethernet, COM) o unas tarjetas especiales del tipo del bus del sistema (que se sitúan en el PC) que permiten realizar una comunicación remota con las entradas/salidas de otros dispositivos para la automatización. La desventaja de los PLC de este tipo es la falta de memoria individual para guardar los datos y la pérdida de los datos sobre el control de los procesos cuando se interrumpe el suministro de potencia. Además, existen ciertos riesgos de que al cambiar el OS el PLC virtual no sea compatible con el nuevo sistema. Además no está garantizado que otras aplicaciones como las HIM o los servidores OPC puedan trabajar simultáneamente con la PLC de tipo software sin generar ningún problema y que su funcionamiento no tenga ninguna influencia sobre el del PLC de tipo software (ej. la velocidad de control sobre los procesos puede verse disminuida, la conexión sobre el bus de campo puede perderse en ciertos momentos, etc.).

### 3.6.3. El principio de funcionamiento de los PLC

UNED (2019) el funcionamiento del PLC es cíclico:

1.- Cada ciclo comienza con un trabajo interno de mantenimiento del PLC como el control de memoria, diagnóstico etc. Esta parte del ciclo se ejecuta muy rápidamente de modo que el usuario no lo perciba.

2.- El siguiente paso es la actualización de las entradas. Las condiciones de las entradas se leen y convierten en señales binarias o digitales. Estas señales se envían a la CPU y se guardan en los datos de la memoria.

3.- Después, la CPU ejecute el programa del usuario, el cual ha sido cargado secuencialmente en la memoria (cada instrucción individualmente). Durante la ejecución del programa se generan nuevas señales de salida.

4.- El último paso es la actualización de las salidas. Tras la ejecución de la última parte del programa. Estas señales son entonces convertidas en las señales apropiadas para las señales de los actuadores. Al final de cada ciclo el PLC comienza un ciclo nuevo.

Respecto al tiempo de reacción entre un determinado evento, se podrá mencionar que este dependerá del tipo de ejecución de un ciclo del programa aplicado.

Los PLCs modernos tienen la capacidad de operar bajo un modo de multitareas. Por ejemplo, un PLC puede trabajar simultáneamente en dos tareas diferentes (utilizando programas distintos). En la práctica, un PLC puede ejecutar solamente una tarea en cada momento, sin embargo, las CPUs de los PLCs trabajan tan extremadamente rápido que parece que el PLC ejecuta diferentes tareas simultáneamente.

El estándar IEC 61131 define una tarea como un elemento de ejecución de control, capaz de generar la ejecución de una secuencia de unidades organizadas de un programa (programas definidos) o basada en periodicidad (tareas periódicas) o basada en un evento (tarea no-periódica). Las tareas periódicas se ejecutan periódicamente sobre un tiempo ya definido, establecido por el usuario. Las tareas no-periódicas se ejecutan con la ocurrencia de un determinado evento, relacionado con la tarea. El evento y la tarea se relacionan mediante una variable Booleana. Un bloque de prioridad de tareas se utiliza en las multitareas, el cual establece un plan de la prioridad de las tareas.

#### **3.6.4. Ventajas y desventajas de los PLC**

Las ventajas de los PLC son las siguientes:

Prieto (2007)

1. Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
  - a. - No es necesario dibujar el esquema de contactos.

b.- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande como para almacenarlas.

c.- La lista de materiales a emplear es más reducida y, al elaborar el presupuesto correspondiente, se elimina parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.

2. Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.
3. Mínimo espacio de ocupación.
4. Menor coste de mano de obra de la instalación.
5. Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar posibles averías.
6. Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
7. Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
8. Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para controlar otra máquina o sistema de producción.

#### **Inconvenientes.**

1. Hace falta un programador, lo que exige la preparación de los técnicos en su etapa de formación.
2. La inversión inicial es mayor que en el caso de los relés, aunque ello es relativo en función del proceso que se desea controlar. Dado que el PLC cubre de forma correcta un amplio espectro de necesidades, desde los sistemas lógicos cableados hasta el microprocesador, el diseñador debe conocer a fondo las prestaciones y limitaciones del PLC. Por lo tanto, aunque el coste inicial debe

ser tenido en cuenta a la hora de decidimos por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurarnos una decisión acertada.

### **3.6.5. Las formas de programación de los PLC (lenguajes de programación)**

UNED (2019) un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como puede ser un ordenador. En el caso de los PLCs, los lenguajes de programación surgieron junto al mismo tiempo que la aparición del primer PLC, en 1968. En el estándar IEC 61131, fue el que consideró estos lenguajes para la programación de los PLCs. A causa de esto, este estándar se ha designado como IEC 61131-3 aunque solía ser designado como IEC 1131. De este modo se definieron los siguientes cinco lenguajes:

- Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC) un lenguaje de bloques de funciones secuenciales.
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD) un lenguaje de diagramas de bloques secuenciales.
- Diagramas de Tipo Escalera (LAD) un lenguaje de diagramas de relés (denominado de tipo escalera).
- Texto Estructurado (ST) un lenguaje de alto nivel como el del tipo de texto estructurado (similar a C y, sobre todo a Pascal).
- Lista de instrucciones (IL o STL) lenguaje de tipo ensamblador con uso de acumuladores.

Entonces se tiene, que los lenguajes de programación para los PLC son de dos tipos, visuales y escritos. Los visuales (SFC, FBD y LAD) admiten estructurar el programa por medio de símbolos gráficos, similares a los que se han venido utilizando para describir los sistemas de automatización, planos esquemáticos y diagramas de bloques.

Sin embargo, los escritos (ST e IL o STL) son listados de sentencias que describen las funciones a ejecutar.

Los programadores de PLC poseen formación en múltiples disciplinas y esto determina que exista diversidad de lenguajes.

Los programadores de aplicaciones familiarizados con el área industrial prefieren lenguajes visuales, por su parte quienes tienen formación en electrónica e informática optan, inicialmente por los lenguajes escritos.

### **Diagrama de Funciones Secuenciales. (SFC)**

UNED (2019) este primer tipo de lenguaje de programación para los PLCs se trata de un método gráfico de modelado y descripción de sistemas de automatismos secuenciales, en los que el estado que adquiere el sistema ante el cambio de una entrada depende de los estados anteriores. Se trata de programas que están bien estructurados y cuyos elementos básicos son las etapas, las acciones y las transiciones. De este modo, una secuencia en SFC se compone de una serie de etapas representadas por cajas rectangulares y que se encuentran conectadas entre sí por líneas verticales. Así, cada etapa representa un estado particular del sistema y cada línea vertical a una transición. Estas transiciones están asociadas a una condición “verdadero/falso”, dando paso así a la desactivación de la etapa que la precede y activación de la posterior.

### **Diagrama de Bloques de Funciones. (FBD)**

UNED (2019) este segundo lenguaje de programación es también de tipo gráfico y permite al usuario programar rápidamente, tanto expresiones como en lógica booleana. FBD proviene del campo del procesamiento de la señal y su utilización es conveniente cuando no hay ciclos pero existen, sin embargo, varias ramas en el programa a crear. Se trata de un lenguaje de alto nivel que permite resumir funciones básicas en bloques de modo que el usuario solo se preocupa por una programación funcional de su rutina. De este modo, es ideal para usuarios que no tengan habilidades avanzadas en programación y para aquellos procesos de baja complejidad. Actualmente es un lenguaje muy popular y muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados y es ampliamente utilizado en Europa.

### **Diagrama de Tipo Escalera. (LAD)**

UNED (2019) este tercer tipo de lenguaje es también un lenguaje gráfico, que pueden soportar casi todos los PLCs. Se trata de una conexión gráfica entre variables

de tipo Booleano, comparable a los antiguos controladores de tipo relé, donde se representa el flujo de energía en diagramas de circuitos eléctricos. Así, este lenguaje de programación se utiliza para la mayoría de las señales Booleanas y prácticamente no se utiliza para trabajar con variables analógicas. Dentro de sus características principales se encuentra el uso de barras de alimentación y elementos de enlace y estado, la posibilidad de utilizar contactos, bobinas y bloques funcionales; así como de evaluar las redes en orden, de arriba abajo o de izquierda a derecha. Se trata de uno de los lenguajes más utilizados en la industria debido a su simplicidad, soportado, disponibilidad y legado. La estructura es simple, los denominados buses o relés rodean una red LD por la izquierda y por la derecha. Para el bus de la izquierda, suministrado con la señal lógica “1”, “la energía” llega a todos los elementos conectados. Dependiendo de su condición, los elementos dejan ir la energía hasta los siguientes elementos o interrumpen el flujo.

#### **Texto Estructurado. (ST)**

UNED (2019) este cuarto tipo de lenguaje, ST, está basado, en cambio, en los lenguajes de tipo texto de alto nivel y es muy similar a los ya conocidos PASCAL, BASIC y C. Aunque todavía no es muy popular se le considera como un lenguaje nuevo ya que requiere conocimiento previo de programación. Las principales ventajas de este lenguaje respecto al basado en el listado de instrucciones o IL es que incluye la formulación de las tareas del programa, una clara construcción de los programas en bloques con reglas (instrucciones) y una potente construcción para el control. De este modo, se trata de la forma más apropiada de programar cuando se necesita realizar ciclos.

#### **Lista de Instrucciones. (IL/STL)**

Este quinto tipo de lenguaje, al igual que el anterior, se trata de un lenguaje de texto, en este caso, similar a un ensamblador. Está mucho más utilizado en Europa y se trata de un tipo conveniente para programas de poca extensión. Una de las principales características es que todos los operadores trabajan con un registro especial, denominado acumulador (LD, ST). Este lenguaje se denomina STL. (Lista de Instrucciones).

### 3.6.6.

### 3.6.7. PLC ALLEN BRADLEY

- ✓ PLC serie 800.

Esta serie ha sido diseñada pensando para sistemas pequeños de bajo costo, estos PLC son compactos y de bajo costo existen varias presentaciones según la necesidad de las entradas y salidas y estas entradas y salidas se pueden aumentar agradándole módulos de entradas digitales y analógicas según se requiera, su forma de programación es sencilla. Existe una gran variedad de estos nano PLC.

- ✓ Micro810.
- ✓ Micro820.
- ✓ Micro830.
- ✓ Micro850.
- ✓ Controlador Micro810.



Figura 5: Micro 810.

Fuente: <https://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/Micro800>

Como el componente más pequeño de la familia Micro800, el controlador Micro810 está disponible en una versión de 12 puntos, con dos salidas de 8 A y dos de 4 A que eliminan la necesidad de relés externos. El Micro810 incluye bloques de función de relé inteligente incorporados que pueden configurarse



desde una pantalla LCD de 1.5 pulgadas y teclado. Los bloques de funciones incluyen las funciones Delay OFF/ON Timer, Time of Day, Time of Week y Time of Year para aplicaciones que requieren un temporizador programable y control de iluminación. La programación también puede realizarse mediante una descarga de programa mediante un puerto de programación USB, usando el software Connected Components Workbench (CCW).

✓ Controlador Micro820.

Este PLC cumple con las necesidades para el proyecto que se esta proponiendo, cuenta con 4 entradas analogicas, 10 entradas digitales 5 salidas digitales.



Figura 6: Micro 820.

Fuente: <https://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/Micro800>

Como uno de los controladores de menor tamaño en la familia Micro800, el controlador Micro820 viene con factores de formato de 20 puntos. El controlador Micro820 está diseñado específicamente para máquinas autónomas de menor tamaño y proyectos de automatización remotos, tiene las siguientes características:

- Dos ranuras para módulo enchufable.
- Ranura para tarjeta microSD para copia de seguridad y restauración de proyectos, registro de datos y recetas.

- Puerto 10/100 Base-t Ethernet incorporado (RJ-45).
- Compatibilidad con módulo LCD remoto (2080-REMLCD) para configuración.
- Puerto serial combinado RS232/RS485 incorporado, no aislado.
- Protocolo Modbus RTU (puerto serie).
- Compatibilidad con Modbus TCP.
- Compatibilidad con EtherNet/IP.

El software que se va utilizar es Connected Components Workbench™ es el entorno de software de programación y configuración para los controladores Micro800. Simplifica la configuración, el uso y habilita las aplicaciones dentro de la gama de relé inteligente sencillo hasta control autónomo de máquina.

### **3.7. Etapas para iniciar la operación minera.**

Global (2015) el grado de complejidad de las operaciones mineras es alto, para poder implementar los proyectos se requiere de una inversión de miles de millones de dólares, los proyectos mineros constan en lo general de 5 etapas.

#### **3.7.1. Etapa de exploración**

En esta etapa se define si el proyecto continua, para ello los geólogos exploran diferentes yacimientos aplicando diferentes métodos, por ejemplo el método de mapeo y/o el método de muestreo de superficie geológica, esto lo realizan con la finalidad de poder obtener diferentes muestras y poder realizar las mediciones geofísicas y el análisis geoquímico de la muestra con la finalidad de poder determinar la ley del mineral, por ejemplo si la ley no das como resultado el 1% esto significa que por cada 100 kilogramos de roca mineralizada existe 1kilogramo del mineral para extraer.

En base a los resultados que se obtengan en esta etapa se podrá dar luz verde al proyecto para avanzar a la siguiente etapa

### **3.7.2. Diseño y planificación**

Una vez cubierta las expectativas de los inversionistas, en la etapa anterior, se podrá iniciar con la etapa de diseño y planificación, en esta etapa se definirá si el proyecto es económicamente viable, ambientalmente racional y socialmente responsable.

### **3.7.3. Construcción**

Para poder iniciar con esta etapa se tiene que obtener los permisos y las aprobaciones por parte del gobierno, tener un sistema de gestión ambiental, en esta etapa implica la construcción de las carreteras, instalaciones de la planta, las viviendas entre otros.

### **3.7.4. Producción**

Se tiene dos métodos de minería, minería de superficie o tajo abierto y minería subterránea, cada método es utilizado teniendo en cuenta las características necesarias para poder realizar la extracción de la materia prima, nivel de seguridad y la inversión que se va a realizar en esta etapa. En esta etapa se tiene tres pasos.

- ✓ Primer paso, es la extracción del mineral de la roca esto se realiza mediante algunas herramientas y/o maquinarias.
- ✓ Segundo paso el procesamiento, los minerales extraídos pasan por un tratamiento químico para separar el mineral de la roca.
- ✓ Tercer paso, se tiene el concentrado el cual está listo para ser vendido.

### **3.7.5. Cierre y la recuperación**

Una vez agotado las reservas del yacimiento, se da inicio a la etapa de cierre, en la cual se desmantela todas las instalaciones de la mina y se da inicio a la recuperación, devolviendo a su estado original el área que se modificó, en esta etapa de recuperación existe un plan integral de rehabilitación siendo su objetivo garantizar la salud y seguridad pública, minimizar los efectos ambientales, eliminación de residuos y materiales peligrosos, preservar y mantener la calidad del agua, estabilizar la tierra para protegerlo contra erosiones y establecer nuevas formas de relieve y vegetación.

## 3.8. Paneles solares

### 3.8.1. Radiación Solar

Raffina (2019) es importante conocer el comportamiento de la radiación solar ya que es el combustible de las células fotovoltaicas y sin ésta no se produciría el efecto fotovoltaico.

La radiación solar es un factor que depende de la posición del sol y de la tierra que se mueven siguiendo leyes de la física y también depende de la atmósfera de la tierra que posee cualidades que permanecen constantes y otras que son totalmente aleatorias.

Irradiación es la cantidad de energía recibida en un periodo de tiempo y su unidad de medida es  $w \cdot h/m^2$ .

Irradiancia es la potencia recibida en un instante y su unidad de medida es  $w/m^2$ .

Es importante saber que la irradiancia que emite la superficie del Sol es de  $63.500 \text{ kW}/m^2$ , pero al exterior de la atmósfera de la tierra llega solamente  $1,37 \text{ kW}/m^2$ , esto es aproximadamente un 3,3%. Además, cuando la radiación solar atraviesa la atmósfera terrestre se produce una pérdida de energía por fenómenos de reflexión, difusión y absorción. En promedio la irradiancia media que llega a la superficie de la Tierra es de  $630 \text{ W}/m^2$ .

Existen tres tipos de radiación solar en función de cómo inciden sobre la superficie de la tierra y son:

- **Radiación Directa**, es la que pasando por la atmósfera llega directamente desde el Sol hacia un punto en la superficie terrestre.
- **Radiación Difusa**, es la que pasando por la atmósfera y teniendo que pasar por obstáculos como las nubes, llega a la superficie de la Tierra.
- **Radiación Reflejada o Albedo**, es la que pasando por la atmósfera es reflejada por el suelo o cualquier otra superficie cercana.

La cantidad de radiación solar que puede recibir un punto en la superficie de la tierra depende de muchos factores:

- **Condiciones meteorológicas**, la radiación solar en un mismo punto de la tierra puede variar si es un día nublado o soleado, en el segundo caso la radiación directa puede llegar a ser el 90% del total.
- **Inclinación del sistema de captación**, un plano horizontal recibe la mayor cantidad de radiación directa y la menor cantidad de radiación reflejada y viceversa. Se tiene que regular la inclinación del captador dependiendo del tipo de radiación que se desea captar.
- **Superficies reflectantes**, en el caso en que las superficies cercanas al captador sean más reflectantes como la nieve, por ejemplo, se tendrá más radiación reflectante que si se tiene las superficies como tierra o césped.
- **Posición de la tierra con respecto al sol**, la mejor manera de aprovechar la radiación del sol es hacer que los rayos del sol incidan perpendicularmente a las superficies. La inclinación en el eje de rotación de la tierra con respecto al plano de su órbita alrededor del sol hace que un mismo punto en la superficie reciba los rayos solares a distintas inclinaciones. Por estas razones un mismo punto recibe irradiancia diferente, esto va depender de la época del año. En la siguiente imagen se puede ver el movimiento del sol en diferentes latitudes y en diferentes épocas del año.

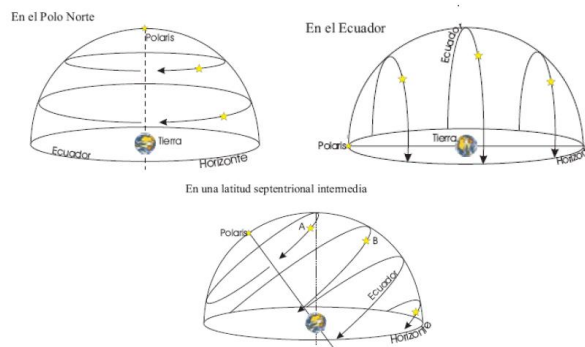


Figura 7: Posición de la tierra con respecto al sol.

Fuente: <https://personales.unican.es/gonzalmi/ssolar/articulos/movapsol.html>

En la siguiente figura 09, se observa los valores de radiación solar en  $\text{kW}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{día}$  sobre la superficie, tomando en consideración la inclinación más favorable en el mes más desfavorable.

En esta imagen brinda las zonas que están situadas en las latitudes próximas al ecuador son las más favorecidas por la radiación solar, lo que indica que son las zonas en las que mayor provecho se puede obtener.

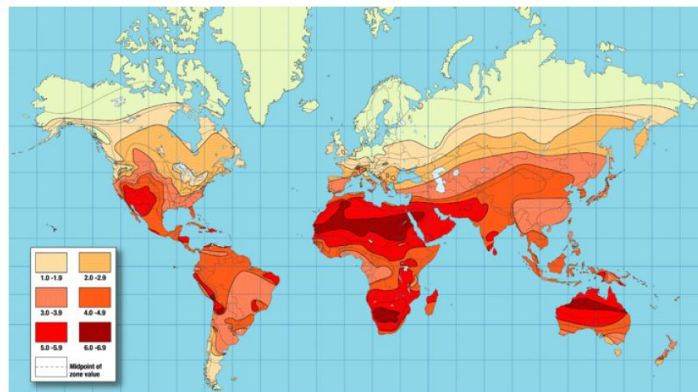


Figura 8: Valores de radiación solar.

Fuente: <http://www.gisandbeers.com/cartografia-de-radiacion-solar-mundial/>

### 3.8.2. Principio de funcionamiento

El efecto fotovoltaico es la conversión de la radiación solar en electricidad, para esto se utiliza material semiconductor, el cual tiene la capacidad de poder absorber los fotones y emitir electrones.

Se puede dividir los materiales en tres tipos.

- Conductores: los electrones de valencia están poco ligados y pueden moverse dentro de una red cristalina con un pequeño agente externo.
- Semiconductores: los electrones de valencia están más ligados al núcleo, pero con una pequeña cantidad de energía se puede comportar como conductores.
- Aislantes: tiene una configuración muy estable y sus electrones de valencia están muy ligados al núcleo y la energía necesaria para separarlos de este es muy grande.

Los materiales utilizados para la fabricación de las células fotovoltaicas son los semiconductores ya que la energía que une a los electrones de valencia con el núcleo es similar a la energía de los fotones de los rayos solares. En el momento en que los fotones de la radiación solar inciden sobre un material semiconductor, los enlaces entre los electrones de valencia y su núcleo se rompen, quedando libres para circular por el semiconductor.

Al espacio dejado por el electrón liberado se le denomina hueco y dispone de carga eléctrica positiva de igual magnitud que el electrón, pero de signo contrario. En las zonas donde se ha expuesto un semiconductor a la luz solar ocurre esta generación de huecos y liberación de electrones. El problema inicialmente era que los electrones liberados pasan a ocupar los huecos dejados por otros, este quiere decir que los huecos y los electrones circulan en la misma dirección, restableciendo el enlace roto sin producir corriente eléctrica. Para que esto no ocurra se debe generar un campo eléctrico en el interior del semiconductor, con esto, los huecos y los electrones circularán en sentidos opuestos produciendo una corriente eléctrica.

El material más utilizado para la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio. Una célula fotovoltaica de silicio está compuesta por dos regiones, para generar un campo eléctrico dentro de ésta lo que se hace es tratar químicamente diferente a las dos regiones. A la primera se le han sustituido algunos átomos de silicio por átomos de fósforo, que posee 5 electrones de valencia, uno más que el de silicio, quedando así un electrón libre. A la segunda en cambio se ha sustituido al silicio por átomos de boro,

que posee 3 electrones de valencia, uno menos que el silicio, quedando un hueco disponible. De esta manera se logra que los electrones fluyan desde la zona tratada con fósforo hacia la zona tratada con boro y los huecos fluyan de manera contraria produciéndose en la unión un campo eléctrico conocida como unión p-n.

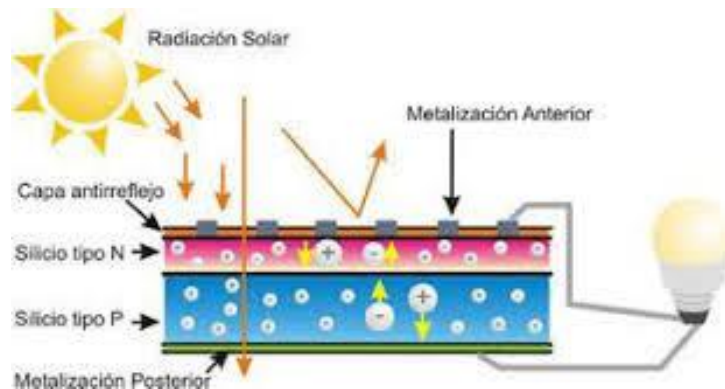


Figura 9: Célula fotovoltaica.

Fuente: <https://academicae.unavarra.es/bitstream/handle/2454/25684/Memoria>

### 3.8.3. Células fotovoltaicas

Son dispositivos formados de material semiconductor, normalmente de silicio, que son capaces transformar los rayos del sol en energía eléctrica. Aunque el silicio es el material más abundante en la tierra después del oxígeno, ya que se encuentra en casi todas las rocas, para la fabricación de las células fotovoltaicas se lo necesita en su forma cristalina y sin imperfecciones. El proceso para llevar al silicio a su forma cristalina es complejo y costoso.

Las células fotovoltaicas están compuestas por una delgada capa de material tipo n (electrón libre) y otra de mayor espesor de material tipo p (hueco disponible), en la unión de estas capas se forma el campo eléctrico. Además, se coloca un conductor externo que conecta la capa negativa a la positiva, generándose así el flujo de electrones o corriente eléctrica desde la zona p a la zona n. La superficie de la zona n es la de la cara que se ilumina y mientras siga siendo iluminada por la luz del sol habrá corriente eléctrica y su intensidad será proporcional a la cantidad de luz que reciba.



## Tipos de células fotovoltaicas

- **Células de arseniuro de galio**, son las más recomendables para la fabricación de módulos ya que en su versión mono cristalino el rendimiento llega hasta el 28%. El principal problema es el elevado costo de este material. Sus principales características son su elevado coeficiente de absorción y sus bajas pérdidas de eficiencia a elevadas temperaturas, por lo que son muy utilizadas en sistemas de concentración. Actualmente se investiga en combinar el arseniuro de galio con silicio para llegar a rendimientos por sobre el 30% y se han tenido resultados exitosos.
- **Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre**, la ventaja de este sistema es que se utiliza muy poco material en un proceso de fabricación sencillo. Al contrario, su rendimiento es muy bajo, llegando en la práctica a valores del 5%. El mayor problema es su degradación en el transcurso del tiempo y la tecnología con la que se producen no está desarrollada así que aún se necesitan muchos estudios para mejorar esta técnica.
- **Células bifaciales**, están fabricadas con una doble unión del tipo npp de tal manera que la célula puede absorber radiación por sus dos caras, aprovechando también la que es reflejada desde el suelo. Su rendimiento es mayor que las células mono faciales, pero sus costos de fabricación también se elevan. Por estos motivos actualmente se encuentran en desuso.
- **Células de silicio amorfo**, la gran ventaja de éstas es que el espesor de las células fotovoltaicas puede ser 50 veces más fino que el de las de silicio mono cristalino, presentan un alto grado de absorción y al ser compuestas por menos cantidad de material su fabricación es más económica. Sus desventajas son que su rendimiento es menor al 10%, mucho menor que las de silicio mono cristalino (15-18%), y su alto grado de degradación al entrar en contacto con el sol. Actualmente son muy utilizadas en calculadoras y relojes donde su durabilidad no es un factor preponderante. En la actualidad se está investigando muchas variaciones en el proceso de fabricación para hacer de estas células más eficientes y ya se han alcanzado rendimientos de hasta 12,24%.

- **Células de silicio poli cristalino**, su proceso de fabricación es similar al del silicio mono cristalino, pero no necesita un riguroso control de temperatura en su etapa de enfriamiento. Su rendimiento llega al 14%, su costo es ligeramente más económico que el del mono cristalino y su ventaja es que se pueden producir directamente células de forma cuadrada sin necesidad de cortes posteriores. Anteriormente estas células no eran muy utilizadas ya que la diferencia de costo con respecto al mono cristalinas era mínima, pero estudios actuales indican que hay nuevas tecnologías que harán que las células poli cristalinas vuelvan a competir con las tecnologías tradicionales.
- **Células de silicio mono cristalino**, son las células más utilizadas actualmente, su estructura es completamente ordenada. El proceso para llegar a la mono cristalización requiere de mucho tiempo y energía, por esta razón su elevado costo, además existe una demanda muy pequeña para los paneles solares. Se lo obtiene dopando silicio puro con boro y su rendimiento llega hasta el 18%. Actualmente se está investigando en procesos de bajo costo que aumenten su rendimiento mediante la utilización de nano partículas de plata, llegando a aumentarlo en un 2,3%.

#### **3.8.4. Rendimiento**

El rendimiento de las células fotovoltaicas está definido como el resultado de la división entre la máxima potencia de generación eléctrica y la potencia luminosa que se aplica sobre una célula fotovoltaica. Por ejemplo, si una célula tiene un rendimiento del 10%, esto quiere decir que por cada 100 vatios que recibe, solamente genera 10 vatios. Actualmente en el mercado español existen módulos con distintos rendimientos, los cuales se indican en las siguientes tablas:

<b>Monocristalinos</b>		
<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Eficiencia</b>
Exiom	EX90M	13,81%
	EX-135M	13,50%
	EX-140M	14,00%
	EX-145M	14,50%
	EX-150M	15,00%
Helios	NA-180W	14,20%
	NA-185W	14,60%
	NA-190W	14,80%
	NA-195W	15,10%
	NA-200W	15,40%
	NA-205W	15,70%
Suntech	STP250S-20/Wd	15,40%
	STP245S-20/Wd	15,10%
	STP240S-20/Wd	14,80%
Sharp	NU-E235 (E1)	14,30%
	<b>Promedio</b>	<b>14,68%</b>

Tabla 1: Rendimiento de paneles mono cristalinos.

Fuente: <https://www.energynews.es/los-10-paneles-solares-mas-eficientes/>

<b>Policristalinos</b>		
<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Eficiencia</b>
GPS	GPS 130	14,22%
	GPS 145	14,38%
	GPS 65Q	13,58%
	GPS 65L	13,86%
	GPS 73L	13,94%
	GPS 80Q	13,89%
Merkasol	220W	13,55%
	230W	14,17%
	235W	14,47%
	240W	14,78%
	245W	15,09%
	250W	15,40%
	255W	15,71%
	260W	16,01%
	<b>Promedio</b>	<b>14,50%</b>

Tabla 2: Rendimientos de los módulos poli cristalinos.

Fuente: <https://www.energynews.es/los-10-paneles-solares-mas-eficientes/>

### 3.9. Baterías

Sunfields (2007) los acumuladores de energía o baterías se utilizan en los sistemas de paneles solares fotovoltaico para acumular la energía producida por los paneles fotovoltaicos durante el día, con la finalidad de poder usar esta energía durante de noche o cuando exista presencia de nubes y los paneles no puedan bastecer de energía al sistema.

Un acumulador de energía está conformado por pequeñas celdas de 2V integradas en un mismo elemento; los acumuladores de energía pueden suministrar 6,12, 24 o 48V. El acumulador de energía es quien almacena energía a través de un proceso electroquímico. Por ejemplo, cuando se utiliza una batería de 24 voltios, esta batería está conformada por 12 celdas de plomo acido, cada celda tiene 2v.

Los acumuladores de energía es un elemento muy importante del sistema y hay que tener mucho cuidado al momento de dimensionarlo.

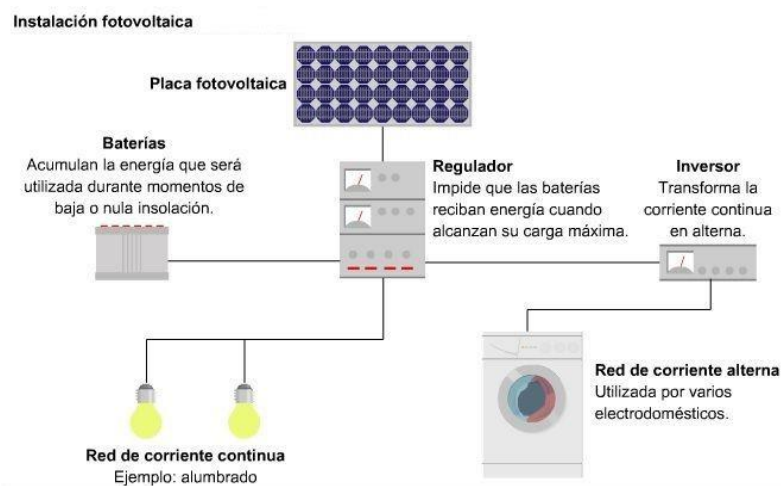


Figura 10: Instalación de un sistema fotovoltaico.

Fuente: <https://paneles-solares.online/tipos-de-instalaciones-fotovoltaicas/>

#### 3.9.1. Función de las baterías solares.

Los acumuladores de energía tienen como función, suministrar energía eléctrica al sistema cuando los paneles fotovoltaicos dejen de generar la electricidad necesaria para el sistema.

En invierno la radiación solar es baja por tal razón es importante almacenar energía para poder suministrar al sistema y poder garantizar el funcionamiento del sistema.

En los acumuladores de energía para alargar su tiempo de vida y evitar sobrecargar es importante tener instalado un controlador o regulador de carga.

### **3.9.2. Funcionamiento de una Batería**

La celda voltaica, vaso o celda electroquímica es una caja que en su interior posee una sustancia química la cual es conocida como electrolito, lo normal es que solo tenga un electrolito pero existe algunas cajas que tienen dos electrolitos, el electrolito suele ser una disolución de ácido sulfúrico en agua destilada, en el interior de la batería se encuentra dos placas una es el electrodo positivo y la otra es el electrodo negativo, estos electrodos son de plomo de allí sale el nombre plomo ácido con el cual son mayormente conocidos.

#### **Carga de la Batería**

Si los electrodos son conectados a los paneles solares mediante un proceso químico se almacenarán energía en la batería, la energía química entre los electrodos produce un diferencial de potencial la cual va aumentando poco a poco en las celdas cuando llegan a 2 voltios eso quiere decir la batería está completamente cargada.

#### **Descarga de la Batería**

Si los electrodos son conectados a la carga del sistema la diferencia de potencial que existe en los electrodos hará que circule corriente por la carga, al transcurrir el tiempo este diferencial de potencial va ir disminuyendo a hasta llegar a 0 voltios, en este momento la batería estará completamente descargada.

### **3.9.3. Baterías de Ciclo Profundo**

Las baterías solares son baterías de ciclo profundo que proporcionan almacenamiento de energía para sistemas de energía solar, eólica y otros sistemas de energía renovable. A diferencia de una batería de coche, una batería de ciclo profundo es capaz de sobrevivir a las descargas prolongadas, repetidas y profundas que son típicas en los sistemas de energía fotovoltaica que están fuera de la red.

Para mantener las baterías sanas y prolongar su vida útil, la mayoría de los fabricantes sugieren limitar la profundidad de descarga a un 20% aproximadamente, lo ideal es que las baterías se descarguen solo hasta el 50% de la profundidad de descarga.

#### **3.9.4. Tipos de baterías**

Existen acumuladores de plomo-ácido con electrolito líquido y plomo-ácido con electrolito gelificado compuesto por un ánodo (electrodo positivo) de dióxido de plomo, un cátodo (electrodo negativo) de plomo esponjoso, y un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua con una concentración nominal del 37% en peso, la densidad nominal del electrolito para esta concentración es de 1.24 g/cm<sup>3</sup>.

Dentro de las baterías de plomo-ácido dependiendo de la función a la que están destinadas se tiene los siguientes tipos:

##### **Según el acceso al electrolito**

- ✓ Baterías abiertas.

Poseen una tapa con tapones que permite abrir los vasos de la batería para poder rellenar el agua destilada necesaria para su correcto funcionamiento. Este tipo de baterías requieren mantenimiento para mantener el líquido del electrolito.

- ✓ Baterías cerradas o selladas.

Llevan incorporadas una serie de válvulas que liberan los gases producidos en el caso de una carga excesiva (válvula de seguridad VRLA). Estas baterías tienen un menor mantenimiento.

##### **Según el estado del electrolito.**

- Plomo ácido abierto

Su electrolito es un líquido, normalmente ácido sulfúrico, y los electrodos son de Plomo. Son baterías abiertas y las más económicas, pero deben de utilizarse en ciclos de descarga poco profundos. Suelen durar en torno a los 400 ciclos de carga y descarga con profundidades de descarga del 20% y con

esperanzas de vida útil que van de 2 a 3 años para las más económicas. Necesitan mantenimiento cada poco tiempo (recargar cada cierto tiempo el líquido con agua destilada).

Son usadas para sistemas de paneles solares de consumos medios-bajos y discontinuos, la eficiencia de la batería de plomo-ácido, está entre el 85-95%.

Ventajas.

- ✓ Su producción permite precios económicos.
- ✓ Las sobrecargas son menos molestas.

Desventajas.

- ✓ Existe un riesgo de pérdida de líquidos (agresivo).
- ✓ Normalmente tienen una vida útil corta, entre 400 ciclos de carga y descarga.
- ✓ Las temperaturas muy bajas las pueden destruir rápidamente.

### **3.9.5. Baterías de gel:**

Son baterías cerradas con el electrolito gelatinoso anti salpicaduras, no emite gases tóxicos, no requieren ventilación ni mantenimiento. Son más caras que las de plomo ácido abiertas, son las de mayor vida útil y con mayor número de ciclos de carga y descarga.

Mejor respuesta de voltaje frente a la descarga, se utilizan para aplicaciones de consumos medios y altos, las más utilizadas en la actualidad.

Ventajas:

- ✓ Más duraderas.
- ✓ Más resistencia al frío.
- ✓ El auto descarga es mínima.
- ✓ Baja resistencia interna que permite altas corrientes.
- ✓ Ciclo profundo.

Desventajas:

- ✓ Precio más alto.

### 3.9.6. Baterías AGM o Secas:

Esta tecnología se llama Absorción Glass Mat (AGM), son baterías cerradas, no necesitan ventilación y sin mantenimiento, hasta 7000 ciclos para las mejores marcas.

Estas baterías en lugar de tener el electrolito líquido lo tienen absorbido en unos separadores de fibra de vidrio.

El líquido va absorbido en el interior de una especie de gasas de fibra de vidrio, por esto motivo también se suelen llamar baterías secas.

Mejor respuesta a corrientes elevadas y descargas profundas. Ideales para instalaciones solares de consumos medios y para vehículos eléctricos, su vida útil ronda los 5 años.

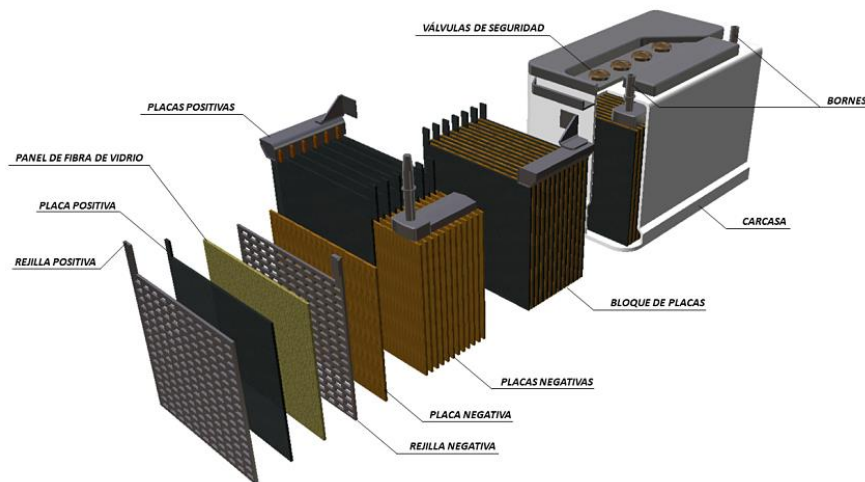


Figura 11: Batería de GEL.

Fuente: <https://blog.reparacion-vehiculos.es>

Las baterías AGM y de GEL pueden trabajar horizontal y verticalmente. Las baterías de Plomo líquido solo pueden trabajar horizontal.



## BATERIAS DE LITIO PARA FOTOVOLTAICA



Figura 12: Baterías de litio.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/baterias-de-litio.html>

### **Baterías Mono bloque o Monoblock**

En su interior contiene varias celdas o vasos conectados en serie y un electrolito común a todos ellos. Todo va recubierto por un conjunto exterior de un solo bloque con la tapa, tapones y bornes. Si se estropea una celda hay que cambiar la batería entera ya que los vasos o celdas no son independientes.

Este tipo de baterías se suelen utilizar en los sistemas de paneles solares pequeños, con bajos consumos como alarmas, bombillas, video vigilancia, etc. Si se tiene algún motor en la instalación que se alimenta con este sistema no es recomendable este tipo de baterías.

Las baterías monoblock pueden a su vez clasificarse en función de cómo es su líquido.

- Baterías de plomo ácido.
- Baterías de gel.
- Baterías de AGM.

Actualmente si se quiere baterías para los sistemas de paneles solares de uso habitual y consumos medios o altos se utilizan las baterías estacionarias.

### **Baterías de Arranque**

Son acumuladores de energía utilizados en el arranque del motor de vehículos. Los acumuladores de arranque están sometidos a descargas a altos valores de intensidad durante períodos muy cortos de tiempo y normalmente sólo descargan un porcentaje pequeño de su capacidad.

Su mayor ventaja es su bajo costo, la gran cantidad de número de placas planas conectadas en paralelo para reducir su resistencia interna, el uso de separadores muy finos y un electrolito de alta densidad.

### **Baterías de Tracción**

Las Baterías de Tracción están diseñadas para aplicaciones que necesitan mucha potencia en picos de demanda y fiabilidad, es por ello que su uso principal es en carretillas elevadoras eléctricas, plataformas elevadoras, máquinas de limpieza y todo tipo de vehículos eléctricos.

En el mercado actualmente se dispone de varios modelos de estas baterías con el voltaje necesario de 12V – 24V – 48V – 80V válidas desde una aplicación ligera y reducida hasta un trabajo en uso intensivo.

Las baterías de tracción están diseñadas para soportar aplicaciones que requieren altos niveles de seguridad.

#### **3.9.7. Baterías Estacionarias**

Son vasos o celdas independientes, aunque esté conectado en serie, de 2V cada uno y que se pueden sustituir de forma individual. La combinación de estos vasos dará la batería que se va requerir en el sistema, la forma en que se presente el líquido del electrolito lo diferencia de otras. Se tiene abiertas y cerradas y además de Plomo, de AGM y de GEL, las baterías estacionarias que son usadas en los sistemas de paneles solares se clasifican en 2 tipos diferentes OPzS y OPzV:

Las OPzS son de Plomo ácido líquido y abiertas por lo que requieren mantenimiento (normalmente cada 6 meses, depende recomendaciones del fabricante).

Con el fin de poder detectar visualmente el nivel del electrolito, se fabrican los bloques en material translúcido.

Las OPzV son de GEL y cerradas por lo que no requieren mantenimiento, su costo es más elevado que las baterías OPzS.

Las baterías estacionarias tienen una alta capacidad de almacenamiento energético y permiten crear grandes bancadas de baterías de 12 o 48V, con una capacidad de acumulación mucho mayor que cualquier batería monoblock. Debido a su mínimo mantenimiento, son la solución perfecta para grandes instalaciones fotovoltaicas en viviendas de uso habitual o de empresas. Son las más utilizadas actualmente en los sistemas de paneles solares por su relación calidad-precio.

Las baterías estacionarias pueden llegar a durar 20 años incluso más o 3.000 ciclos. Existen distintos tipos de baterías de plomo-ácido estacionarias.

#### **Distintos diseños de baterías:**

Se utiliza dos tipos de placas en las baterías de tipo plomo-ácido:

- ✓ **Planté**, consiste en una hoja de plomo en la cual la materia activa es formada electroquímicamente (corrosión anódica) del mismo plomo de la plancha por medio de procesos de carga y descarga.
- ✓ **Fauré (empastadas)**, pueden ser planas o tubulares. La placa empastada plana se caracteriza por una capa formada a partir de óxidos de plomo, que reduce el tiempo para formar los materiales activos positivos y negativos. En este tipo de placas se utilizan rejillas para retener el material activo y mejorar la distribución de la intensidad en la placa. La placa empastada positiva tubular consiste en varillas de plomo aleado con antimonio recubiertas de fibras sintéticas en forma de tubos. La placa empastada negativa siempre es del tipo plana.

Tipos de aleación:

- ✓ **Aleaciones de plomo-calcio (Pb-Ca)**, su principal ventaja es la alta resistencia a la corrosión por sobrecarga reduciendo el nivel de gaseo y su bajo nivel de auto-descarga. Su inconveniente es la elevada corrosión a bajos

estados de carga y el alto control de impurezas durante el proceso de fabricación.

- ✓ **Aleaciones de plomo-antimonio (Pb-Sb)**, su principal ventaja es el buen comportamiento en operaciones de ciclado y descarga profunda. Su principal inconveniente es que su Sb de la placa positiva se deposita en la negativa aumentando el gaseo y la auto-descarga.
- ✓ **Placa de plomo puro (sin aleantes)**, su principal ventaja es la baja auto-descarga y la larga vida útil operando en flotación. Su principal inconveniente es la fragilidad de sus placas debido a la ausencia de aleantes, no deben descargarse muy profundamente ni cargarse muy rápidamente. Tienen mayor coste de fabricación.

### **3.9.8. Baterías de Litio Li-ion**

Los sistemas de paneles solares, necesitan de baterías para almacenar la energía eléctrica producida por los paneles.

Las baterías de iones de litio, también denominadas baterías Li-Ion, son dispositivos diseñados para almacenamiento de la energía eléctrica que emplean como electrolito una sal de litio que consiguen los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que se produce entre el cátodo y el ánodo.

Son más ligeras debido a su composición y tienen una alta capacidad energética y de funcionamiento con un alto número de ciclos de regeneración. También tienen una alta resistencia a la descarga además y muy poco efecto memoria.

Se está iniciando la transición de las baterías de Plomo-acido a las de Litio, las baterías de ion litio son la combinación ideal para las necesidades de almacenamiento de energía solar, aun no son utilizadas por el alto costo de que tienen en la actualidad.

Actualmente las más vendidas son las baterías de Litio de Tesla y las de la marca LG, aunque hay otras muchas marcas (BYD y Axitec Axistorage) que incluso pueden ser más económicas con las mismas características.

## **Ventajas de las Baterías de Litio**

Las baterías de ion de litio tienen varias ventajas sobre las baterías de plomo-ácido convencionales:

- Alta densidad energética: más energía almacenada con menos peso.
- Las baterías de ion-litio ahorran hasta un 70% en espacio y un 70% en peso en comparación con el plomo-ácido.
- Todo esto es muy útil sobre todo para el almacenamiento de las baterías y para su transporte.
- Las baterías de iones de litio requieren poco mantenimiento y son más resistentes a las descargas irregulares.
- No emiten gases tóxicos y contaminantes.
- Altas Corrientes de carga
- Tardan menos tiempo en cargarse
- Altas corrientes de descarga.
- Se pueden descargar rápidamente sin problemas de pérdida de vida útil.
- Batería de larga duración.
- Hasta seis veces más que una convencional.
- Tiempo de vida de 15 años para las de Litio.
- Alta eficiencia entre carga y descarga.
- Muy poca pérdida de energía debido al desarrollo de calor.
- Mayor potencia continua disponible.
- No tienen prácticamente nada de auto descarga.

## **Desventajas de las Baterías de Litio**

- Su alto Precio.

- Necesitan un controlador o gestor para regular la carga y descarga.
- Dentro de este regulador, normalmente se incluye el Inversor y el regulador.
- Problemas de reciclaje.
- Dependencia de algunos Países del Litio.

### **Diferencias en la Instalación**

La instalación de este tipo de baterías suele ser mucho más sencilla que las de Plomo-acido. Suelen poder ponerse incluso ancladas a la pared y es muy fácil apilar una sobre otra.

La única diferencia es que si se usa los de Alto Voltaje no se va requerir conversor porque la batería ya lo lleva incorporado.

### **Características de las baterías de litio:**

La tensión nominal de cada celda o vaso de la batería de Ion Litio es de 3,2V y en las de Plomo-ácido es de 2V.

Esto no es demasiado importante, en lo que se tiene que fijar es simplemente si el total es de la tensión de trabajo de la instalación, 24V, 48V, etc.

Se tiene 2 tipos, Baterías de Li de Bajo Voltaje (hasta 48V) y las de Alto Voltaje (de 200V a 400V).

Las más usadas actualmente para las instalaciones de viviendas son las de Bajo Voltaje, aunque las que se suponen que van a revolucionar el mercado para las instalaciones de paneles solares son las de alto voltaje, más concretamente la Tesla PowerWall. LG como Tesla Fabrican de los 2 tipos.



Figura 13: Dimensiones de las baterías de litio

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/baterias-de-litio.html>

### **Baterías de Litio Funcionamiento**

Este tipo de baterías se utilizan hoy en día en nuestro teléfono móvil o SmartPhone, y en los ordenadores portátiles.

Durante décadas, las baterías de plomo-ácido han sido la opción dominante para los sistemas solares fotovoltaicos, pero con el crecimiento de los vehículos eléctricos, la tecnología de baterías de iones de litio ha mejorado y se ha convertido en una opción viable para estos sistemas de paneles solares.

Una batería de litio es un acumulador de energía que utiliza como electrolito sales de litio, tiene el mismo principio que las otras baterías, esta batería también está conformada por celdas, cada celda está conformada por, un electrodo positivo (conectado al terminal positivo o + de la batería), un electrodo negativo (conectado al terminal negativo o -) y un químico llamado electrolito entre ellos.

El electrodo positivo suele estar hecho de un compuesto químico llamado óxido de litio-cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ) o, en baterías más nuevas, de fosfato de litio y hierro ( $\text{LiFePO}_4$ ).

El electrodo negativo generalmente está hecho de carbono (grafito) y el electrolito varía de un tipo de batería a otro, pero no es muy importante para comprender la idea básica de cómo funciona la batería.

Todas las baterías de iones de litio funcionan de la misma manera. Cuando la batería se está cargando, el electrodo positivo de óxido de cobalto y litio abandona algunos de sus iones de litio, que se mueven a través del electrolito hacia el electrodo de grafito o carbono negativo y permanecen allí. La batería absorbe y almacena energía durante este proceso.

Cuando la batería se está descargando, los iones de litio regresan a través del electrolito hacia el electrodo positivo, produciendo la energía que alimenta la batería.

En ambos casos, los electrones fluyen en dirección opuesta a los iones que rodean el circuito externo. Los electrones no fluyen a través del electrolito: es efectivamente una barrera aislante, en lo que respecta a los electrones.

El movimiento de los iones (a través del electrolito) y los electrones (alrededor del circuito externo, en la dirección opuesta) son procesos interconectados, y si alguno de ellos se detiene, el otro también lo hace. Si los iones dejan de moverse a través del electrolito porque la batería se descarga por completo, los electrones tampoco pueden moverse a través del circuito externo, por lo que pierde su energía.

De manera similar, si apaga lo que sea que esté cargando la batería, el flujo de electrones se detiene y también lo hace el flujo de iones. Básicamente, la batería detiene la descarga a una velocidad alta (pero sigue descargándose, a una velocidad muy lenta, incluso con el aparato desconectado).

A diferencia de las baterías más simples, las de iones de litio tienen controladores electrónicos integrados que regulan cómo se cargan y descargan. Evitan la sobrecarga y el sobrecalentamiento que pueden causar que las baterías de iones de litio exploten en algunas circunstancias.

Las baterías monoblock de Litio ocupan poco espacio, pesan poco, no emiten gases, tienen tiempos de carga más rápidos y se pueden descargar al 90%.

La desventaja que actualmente tiene este tipo de baterías es su elevado coste. Sin embargo, en un futuro se cree que los fabricantes lo puedan optimizar. Tesla está empezando a ofrecer este tipo de baterías a muy buen precio.



### Parámetros de una Batería

Tensión de la batería: lo primero que se tiene que determinar es la tensión de funcionamiento de nuestra instalación en corriente continua, antes de llegar al convertidor de alterna. En los sistemas de paneles solares suelen utilizarse las siguientes tensiones:

POTENCIA DEMANDADA POR EL SISTEMA (W)	TENSION DE TRABAJO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO (VOLTS)
MENOS DE 1500W	12V
ENTRE 1500W Y 5000W	24 - 48V
MAS DE 5000W	120 - 300V

Tabla 3: Características de consumo de energía del sistema fotovoltaico.

Fuente: Elaboración Propia

### Vida útil

La vida útil de una batería no se mide en años, sino por la cantidad de ciclos de carga - descarga que es capaz de realizar. Así, si se la somete a un régimen de trabajo de muchos ciclos diarios, probablemente sólo durará unos meses, mientras que si el régimen es de un ciclo al día o incluso más lento (como ocurre en el caso de iluminación de viviendas con energía solar) la batería puede durar al menos diez años.

### Ejemplo

Si se tiene una batería de uso diario y se requiere una autonomía de 5 días (que se descargue en 5 días; 1 ciclo = 5 días),  $5 \times 24h = 120h$ . La batería se descarga en 120h,

por lo que tendría un ciclo de descarga de 120h. Normalmente se suelen considerar ciclos de descarga de 100h en los sistemas de paneles solares.

Esto viene como C100 en los catálogos. El C100 es una forma de poder comparar baterías diferentes con el mismo ciclo de descarga 100 horas.

Para prolongar la vida útil de las baterías no deben descargarse totalmente. La cantidad de descarga es conocido como profundidad de descarga (Depth of Discharge = DOD). Cuanto menos profundos sean los procesos de descarga mayor será la vida útil del acumulador.

Una batería con una profundidad de descarga por ciclo del 50% durará más que una con un 70% de profundidad de descarga.

✓ Profundidad de Descarga (DOD):

Es el porcentaje máximo del total de la carga de una batería que determina hasta donde descargarse en un ciclo completo (carga y descarga). Si decidimos el 70%, quiere decir que cuando la descarga de la batería llega al 70% de su total, empieza a cargarse por completo, o que nunca se podrá descargar más energía que el 70% del su total.

En función de la profundidad de descarga de las baterías se tiene 2 tipos: Baterías con ciclos poco profundos y baterías de ciclo profundos.

Las baterías de ciclo poco profundo, no suelen aguantar bien unas descargas mayores del 20% y se suele producir la descarga rápidamente, en poco tiempo. Suelen tener una vida de 500-1000 ciclos. De este tipo son las de arranque de los coches o motos. Las de los coches dura muy poco el ciclo (el arranque) y es poco profundo para que dure muchos años.

Las baterías para los sistemas de paneles solares son de ciclo profundo, es decir que aguantan que se descarguen hasta el 80% de su carga total, pero esta descarga (ciclo) dura mucho tiempo (días). Suelen tener una vida de 1500 ciclos.

Lo normal es poner una profundidad de descarga entre el 50% y el 70%.

Los valores normales son:

<b>NIVEL DE CARGA DE LA BATERIA EN UNA INSTALACION DE 12V</b>	
<b>PORCENTAJE DE LA BATERIA</b>	<b>VOLTAJE DE LA BATERIA</b>
100	12.7
75	12.5
50	12.2
30	12
10	11.6

Tabla 4: Nivel de carga de la batería de 12v.

Fuente: Elaboración propia.

<b>NIVEL DE CARGA DE LA BATERIA EN UNA INSTALACION DE 24V</b>	
<b>PORCENTAJE DE LA BATERIA</b>	<b>VOLTAJE DE LA BATERIA</b>
100	25.4
75	25
50	24.4
30	24
10	23.2

Tabla 5: Nivel de carga de la batería de 24v.

Fuente: Elaboración propia.

NIVEL DE CARGA DE LA BATERIA EN UNA INSTALACION DE 48V	
PORCENTAJE DE LA BATERIA	VOLTAJE DE LA BATERIA
100	50.8
75	50
50	48.8
30	48
10	46.4

Tabla 6: Nivel de carga de la batería de 48v.

Fuente: Elaboración propia

✓ Capacidad de la Batería:

Es la cantidad total de corriente que es capaz de suministrar la batería en un determinado tiempo y con una tensión determinada cuando está cargada al 100%.

La cantidad de electricidad que puede almacenar durante la carga y la que puede dar en la descarga es la misma, y eso es la capacidad de la batería. Su unidad es el Amperio hora (Ah). En los sistemas de paneles solares suelen darse las capacidades de las baterías para 100 horas de descarga (C100).

Una batería de 280Ah a 12V es capaz de suministrar 28A en 10 horas, o 2,8A en 100horas.

La capacidad = Amperios necesarios a suministrar x tiempo de descarga en Hora  
=  $I \times t$

$$CAPACIDAD = I * t$$

Formula 1: Capacidad de la batería.

Para esto se tiene que conocer el consumo del sistema.

Se tiene una instalación que consume una potencia de 5750w. El sistema de paneles solares será de 24V para esta potencia, para esto se tiene que saber la capacidad de la batería que se va a utilizar.

Se calcula la intensidad que tendrá que suministrar la batería:

$$P = V * I$$

Formula 2: Potencia.

Se despeja I

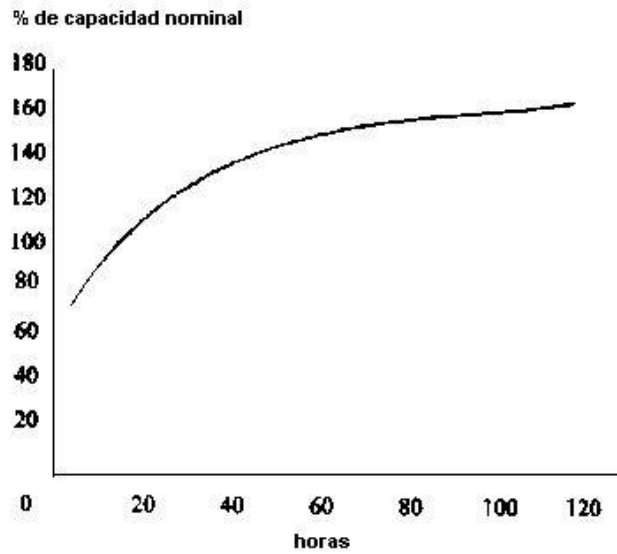
$$I = \frac{P}{V} = \frac{57450}{24} = 239.58amp = 240amp$$

Se necesita conocer el tiempo de autonomía para la batería.

La batería tiene que suministrar una intensidad de 240A cuando esta toda la carga conectada. Si se requiere una autonomía de 4 días entonces se tendría que saber las horas de funcionamiento esto se realiza de siguiente manera, 4 días x 24h = 96h, siempre y cuando vaya funcionar las 24 horas de lo contrario solo el tiempo que vaya a funcionar durante cada día.

$$C = I * t = 240 * 96 = 23040Ah$$

Se tiene que tener en cuenta que la capacidad de la batería disminuye si el tiempo de descarga es muy corto, y si por el contrario si el tiempo de descarga es muy largo su capacidad aumenta. Si se carga muy rápidamente su capacidad será menor que si se carga de forma lenta. Se puede observar en el siguiente gráfico:



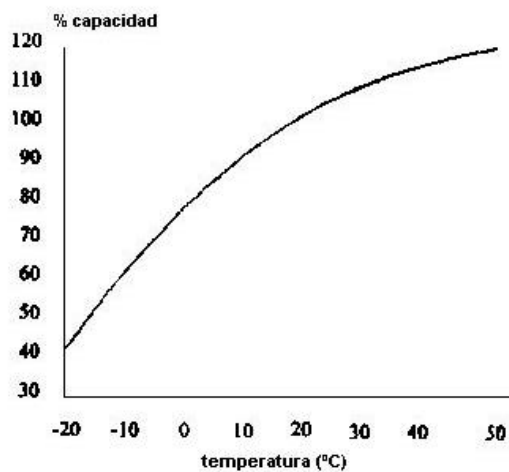
Variación de la capacidad según régimen de descarga

Figura 14: Capacidad vs descarga

Fuente: <https://bateriasyamperios.wordpress.com>

### Las baterías y la temperatura:

Si la temperatura aumenta se incrementa la capacidad de la batería, pero disminuye su durabilidad (duran menos), por esta razón el fabricante especifica una temperatura de trabajo de 25°C. Como se puede observar en el siguiente gráfico.



Variación de la capacidad según la temperatura

Figura 15: Capacidad vs temperatura.

Fuente: <https://bateriasyamperios.wordpress.com>.

A temperaturas muy baja podría congelarse el electrolito y muy altas temperaturas se acortaría el tiempo de vida de las baterías.

También es importante tener en cuenta que las baterías en la carga y descarga se calientan, por eso es necesario que se sitúen en un lugar con buena ventilación. Lo ideal es mantenerlas siempre a unos 25°C.

Eficiencia de carga:

Es la relación entre la energía utilizada para cargar el acumulador y la energía realmente almacenada. Cuando este valor este más aproxime al 100% se tuvo mayor eficiencia.

✓ Autodescarga:

Es la pérdida de la capacidad de una batería cuando está almacenada en circuito abierto o sin usar por la reacción entre los materiales que la forman. La autodescarga es un proceso de un acumulador por el cual sin estar en uso tiende a descargarse. La autodescarga hay que considerarla como un consumo adicional, que demanda un cierto porcentaje de energía almacenada. Depende del tipo de batería y muy directamente de la temperatura, aumentando con esta. Su valor es aproximadamente de un 0,5 a un 1% diario en baterías de Pb-ácido.

### **Calculo de la Batería para un sistema paneles Fotovoltaica**

La capacidad de almacenamiento de energía de una batería viene expresada en Amperios-Hora (Ah) y normalmente lo que se conoce de la instalación que quiere alimentar es el consumo diario que viene expresado en Vatios-hora / día.

Se tiene que pasar los wh/día a Amperio-hora. Si dividimos los w (potencia) entre la tensión de trabajo de la instalación será en amperios-hora que se requiere para suministrar ese consumo diario a la instalación a través de la batería.

Consumo diario de la Instalación =  $W \times h$  al día.

Como:

$$P = V * I$$

Despejando:

$$I = \frac{P}{V}$$

Capacidad diaria:

$$C = I * t$$

La batería para un sistema de paneles solares se dimensiona teniendo en cuenta el consumo diario, los días que necesita de autonomía, la profundidad de descarga y la tensión del trabajo.

La fórmula para el cálculo de la batería (su capacidad) es la siguiente:

$$\text{capacidad} = \frac{\text{consumo diario} * \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga} * \text{tension}} * 1.15$$

Formula 3: Capacidad de la batería.

Se multiplica por 1.15 porque se está asumiendo el 15% de pérdidas por temperatura y rendimiento de equipos.

Ejemplo:

Se tiene una instalación con un consumo diario:

- Iluminación: 3 bombillas led x 7w/bombilla x 5h/día = 105wh/día
- TV: 1 unidad x 25w x 2h/día = 50wh/día
- Frigorífico: 92Hwh/año = 252,05wh/día

Consumo total de la instalación al día= 105 + 50 + 252,05 = 407.05wh/día

Para uso diario se considera la batería con una autonomía de 4 días.



Profundidad de descarga para los cálculos:

Se tiene una batería de gel, AGM o estacionaria se puede considerar una profundidad de descarga del 70%. Recuerda que las baterías de gel y AGM soportan profundidades de descarga más profundas hasta el 50% recomendado por los fabricantes.

Se utiliza una batería con un 70% de profundidad de descarga.

Se necesita saber la tensión que se utilizara en el sistema (12V, 24V o 48V son las más normales). Para la instalación se utilizará una de 12V.

Con todos estos datos ya se puede calcular, según la fórmula la capacidad de la batería necesaria:

$$capacidad = \frac{\text{consumo diario} * \text{dias de autonomia}}{\text{profundidad de descarga} * \text{tension}} * 1.15$$

$$capacidad = \frac{407.05 \frac{Wh}{dia} * 3 \text{ dias}}{0.7 * 12v} * 1.15 = 167.18Ah$$

Elegimos una batería que esté por encima del valor que se encontró.

Ejemplo para uso diario.

Se tiene un consumo diario de 5493 Wh/día y de uso diario (4 días de autonomía). Decidimos no superar nunca el 20% de su descarga (profundidad de descarga 0.2) y a una tensión de 24V.

$$capacidad = \frac{5400 \frac{Wh}{dia} * 4 \text{ dias}}{0.2 * 24v} * 1.15 = 5.175Ah$$

Factores a considerar.

La vida útil de una batería para instalaciones solares suele ser de unos 10 años, pero si las descargas profundas frecuentes (> 50%) están en declive. Por lo tanto, es conveniente instalar suficiente capacidad para que no se exceda el 50%.

Otro factor muy importante es la temperatura, si se mantiene entre 20 y 25 grados la vida útil será de unos 10 años, pero si se cambia en 10°C, la vida útil puede reducirse a la mitad.

### **Características típicas de una batería solar:**

Los tres parámetros característicos que se debe conocer de un acumulador o batería son:

#### ✓ Tipo de batería

El más utilizado en la práctica con diferencia es del tipo plomo-ácido con electrolito líquido, seguido del acumulador de plomo-ácido con electrolito gelificado (o acumulador sellado) y el acumulador de níquel-cambio (con sus variantes).

#### ✓ Capacidad de la batería

Se suelen expresar en amperios por hora (Ah) y es una medida de la cantidad de energía eléctrica que puede suministrar la batería bajo unas determinadas condiciones. Existe un amplio rango comercial de capacidades. La capacidad disponible en la batería se ve afectada principalmente por la temperatura a la que esta se encuentra sometida.

#### ✓ Tensión de la batería

La batería se puede considerar como una fuente de tensión continua, presente ésta entre los terminales o bornes positivo y negativo de la misma, siendo 2 y 12 voltios los valores más habituales. Las baterías de 12 voltios se suelen presentar en monoblock con capacidades de hasta 400 Ah aproximadamente. Para capacidades superiores se suelen utilizar elementos o vasos de 2 voltios conectados en serie o paralelo según la necesidad.

#### ✓ Proceso de carga y descarga de una batería:

Los procesos de carga (transformación de la energía eléctrica en química) y de descarga (transformación de la energía química en eléctrica) se rigen por la siguiente reacción global:

La carga es el proceso por el cual la batería almacena energía eléctrica al paso de una corriente directa por transformación en energía química. Cuando la carga se realiza a una intensidad constante, ésta se caracteriza por un aumento del voltaje en los terminales de la batería y un aumento del estado de carga definido éste como la relación entre la cantidad de carga disponible en un determinado instante y la cantidad de carga disponible cuando la batería está plenamente cargada. También se observa un aumento de la densidad del electrolito.

La descarga es el proceso por el cual la energía química almacenada en la batería se transforma en energía eléctrica. Cuando la descarga se realiza a intensidad constante se caracteriza por una progresiva disminución del voltaje en los terminales de la batería, de la densidad y del estado de carga.

Las baterías solares, junto con los paneles solares, son el corazón de cualquier proyecto fotovoltaico.

### **3.10. Controladores de voltaje**

#### **3.10.1. Reguladores de carga para paneles solares**

El regulador de carga o también conocido como controlador de carga, su principal función es regular el nivel de energía eléctrica que llega a las baterías para que no ocurra una sobrecarga o una descarga profunda en las baterías.

Al realizar el cálculo para saber paneles que se necesitan para un sistema autónomo se toman los peores valores esto quiere decir en la época donde la radiación solar es mínima esto dio como resultado el invierno, entonces todos los cálculos para el dimensionamiento del panel serán en base a esta época del año.

Como ya elegimos los paneles solares en base a la información de la época de invierno, que va a ocurrir con la época del año donde la radiación solar es mayor, es decir en verano, en esta época la radiación solar será mayor y por lo tanto los paneles

solares generaran mayor energía, es aquí donde el regulador de carga juega un papel importante el de proteger los equipos brindando solo la energía necesaria para su correcto funcionamiento.



Figura 16: Conexión del controlador de voltaje.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>.

El regulador de carga es un equipo autónomo quien monitorea el modulo fotovoltaico y el estado de carga y descarga de las baterías, los reguladores de carga y la batería son instalados junto con, las tres funciones del regulador de carga son:

**Proteger la batería de acumuladores contra la sobrecarga o descarga profunda.** En el caso que este cargada completamente la batería el regulador interrumpe la conexión con los paneles para evitar sobrecargar de las baterías. A la inversa, cuando su carga desciende por debajo de cierto porcentaje (profundidad de descarga o DOD), corta la conexión con la red de consumo para evitar que se descargue por debajo de la profundidad de descarga marcada en el diseño de la instalación.

**Proteger a la batería de acumuladores contra las sobretensiones.** A la entrada de las baterías pueden producirse sobretensiones, por ejemplo, cuando desciende mucho la temperatura de trabajo de las celdas solares. El regulador protege a las baterías de estas sobretensiones que podrían dañarlas. Además, los módulos solares suelen tener tensiones nominales mayores que las baterías para asegurar la carga correcta de la batería.

### **Evitar la descarga nocturna de las baterías sobre los generadores fotovoltaicos.**

El regulador detecta que es de noche midiendo la tensión de entrada de los módulos fotovoltaicos. Cuando detecta que es de noche desconecta la entrada para evitar la circulación de corriente de la batería a las placas fotovoltaicas. Como solución básica, emplea un diodo que evita la circulación de corriente inversa.

- Protección contra cortocircuito.
- Protección de corriente inversa.
- Protección a los paneles solares.

Siendo estas las características básicas de los controladores de energía, también existen controladores de energía con mayores funciones, por ejemplo:

- Compensador de temperatura ambiental para medir la carga del acumulador.
- Conexión remota.
- Pueden generar un histórico para el análisis de datos del controlador.
- Modos de carga para el acumulador.
- Activación automática de fuentes de energía (red eléctrica).
- Control de carga y descarga de las baterías para extender el tiempo de vida.

### **3.10.2. Tipos de reguladores**

Regulador MPPT.

Reguladores de carga “mppt maximum power point tracking” (controlador de punto de máxima potencia) tienen una función de barrido, el cual escanea el voltaje del panel solar para poder determinar la máxima potencia de salida con la finalidad de poder adaptar el voltaje para las baterías, este regulador permite aumentar la eficiencia de los paneles solares de un 15% a un 30%, también optimizan la etapa de carga de la batería y por último aumenta el tiempo de vida útil de la batería.

El regulador está encargado de convertir la corriente continua de alta tensión en corriente continua de una tensión inferior para cargar la batería. Estos mecanismos permiten que el regulador de carga MPPT permita obtener en cada momento la

máxima potencia, o limitar las fases de flotación o absorción evitando que la batería se sobrecarga o descarga, por lo que el rendimiento de la instalación fotovoltaica será óptimo.

Al momento de elegir un controlador se tiene que conocer estos dos elementos principales:

La tensión entre los paneles y la batería, el regulador debe estar en la capacidad de poder aceptar estas tensiones en lo general son de 12 voltios, 24 voltios y de 48 voltios.

La corriente máxima del controlador debe ser mayor a la corriente de corto circuito de los paneles, se recomienda tener un margen del 10% al 20%.

#### Regulador PWM.

Los reguladores PWM verifican la cantidad de voltaje que necesitan las baterías para poder ser cargadas entonces sus módulos trabajan a la misma tensión que las baterías necesitan ser cargadas, el cual genera una pérdida del 15% al 30%, una de las ventajas de estos equipos es su bajo costo y son ligeras, este controlador se usa en instalaciones pequeñas donde sus usos no son de forma continua.



Figura 17: Tipos de controladores.

Fuente: <https://placassolares.pro/bluesolar-pwm-light-12-24v-10a/>.

Los reguladores MPPT, estos reguladores son usados aproximadamente desde el año 1968 en aplicaciones espaciales donde se hacía uso de los paneles solares como fuente de energía, este regulador realiza un seguimiento del punto máximo de potencia de la fuente de alimentación no lineal, de esta manera puede suministrar la potencia máxima que genera los paneles solares hacia la batería.

Cuando exista una caída voltaje esta será compensada con el incremento de la corriente esto dio una pérdida del 5%.



Figura 18: Controlador de energía.

Fuente: <https://placassolares.pro/bluesolar-pwm-light-12-24v-10a/>.

Si nuestro sistema va a funcionar de forma continua se tiene que elegir el regulador que tenga menor porcentaje de pérdida y optimice el tiempo de vida de los paneles y de las baterías, se puede decir que los reguladores de carga MTTP son los que tienen un mejor rendimiento y optimización del sistema, ahora viéndolo desde el punto de costos los reguladores MPPT son más caros, que los reguladores PWM

Es el regulador quien dará un mayor tiempo de vida para los paneles fotovoltaicos y para las baterías, ya que si las baterías no experimentan sobre descargas y sobrecargas el tiempo de vida útil será mayor.

### 3.10.3. Diferencia entre los controladores de carga PWM y el MPPT.

El MPPT posee un controlador del punto de máxima potencia y un transformador CC-CC que transforma la corriente continua de alta tensión a una corriente de menor tensión.

Esto no ocurre con el PWM

Parámetros que definen u regulador.

- Voltaje máximo de regulación: Este se define como el voltaje más alto que el regulador de energía accede a proporcionar a una batería.
- Intervalo de histéresis superior: Esta se define como aquella desigualdad existente entre el voltaje más alto de regulación y el voltaje por el cual el regulador pasa toda la corriente producida por los paneles solares.
- Voltaje de desconexión: Este es uno de los parámetros más importantes debido a que este desempeña el papel de voltaje al que se desconecta de manera inmediata las cargas de consumo evitando que de esta manera la batería sufra una sobrecarga.
- Intervalo de histéresis inferior: Es la desigualdad que existe entre el voltaje nombrado anteriormente y el voltaje que se concede que los consumos se conecten nuevamente a la batería.

Cálculo o dimensionamiento del regulador de carga para un sistema fotovoltaico.

Primero se debe saber la corriente corto circuito ( $I_{sc}$ ), se va a utilizar dos paneles de 220 watt para esto se debe tener la hoja técnica del panel solar.

<b>Schuco 220 Watt 29.70 Volt Solar Panel</b>	
Product Number	MPE 220 PS 09
STC Rated output (Pmpp)	220Wp
PTC Rated output (Pmpp)	199.5 Wp
Warrented power output STC (Pmpp)	220 Wp
Rated voltage (Vmpp)	29.70 V
Rated current (Impp)	7.38 A
Open circuit voltage (Voc)	36.77 V
<b>Short circuit current (Isc)</b>	<b>8.12 A</b>
Module efficiency	13.40%

Tabla 7: Características del controlador.

Fuente: <https://placassolares.pro/bluesolar-pwm-light-12-24v-10a/>



Para este caso la  $I_{sc}$  es de 8.12 amperios, porque se elige este valor, porque es la peor situación que se puede presentar, cuando se conecta en serie los paneles se suman las tensiones pero la corriente queda igual, en caso de conectar en paralelo los paneles la corriente se suma y la tensión se mantiene igual, como se va a usar dos paneles y serán conectados en paralelo se tendrá un  $I_{sc}$  de 16.24 amp, a este valor se tiene que multiplicar por un factor de seguridad del 25% es decir nuestra  $I_{sc}$  final será:

$$I_{sc\_f} = 16.24 \times 1.25$$

$$I_{sc\_f} = 20.3 \text{ amp}$$

Esta será la corriente mínima de entrada al regulador.

El modulo tendrá una tensión a máxima potencia ( $V_{mpp}$ ) de 29.70v esto quiere decir que se usara una batería de 24 voltios, si nuestra tensión a máxima potencia es de 14v entonces se tendrá que usar una batería de 12 v.

Los reguladores PWM son utilizados para sistemas en el cual su consumo es menor de 200watt para potencias mayores a esta se usarán los reguladores MPPT.

Formas de conmutación con la batería.

Reguladores en serie. Se utiliza relay, estos relay abren el circuito entre el panel solar y las baterías, cuando las baterías están cargadas, sino se tiene consumo de la carga, los relay también se abren aislando los paneles solares para que las baterías no se descarguen.

Reguladores en paralelo. En este caso se tiene una resistencia la cual sirve para disipar el exceso de energía que se tiene en el sistema, cuando las baterías están cargadas, al disipar la energía de esta forma se produce perdidas.

Con estas definiciones se puede concluir que los reguladores en serie del tipo MPPT las cuales son las eficientes.

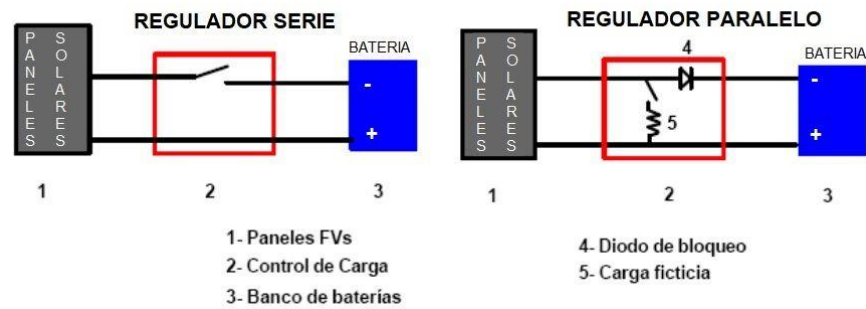


Figura 19: Conexión del regulador de carga

Fuente: <https://placassolares.pro/bluesolar-pwm-light-12-24v-10a/>

### 3.11. Definición de solenoide

Es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica este dispositivo crea un campo magnético a partir de la corriente eléctrica que fluye a través de la bobina y utiliza el campo magnético para crear un movimiento lineal en el núcleo.

#### 3.11.1. Partes de la válvula solenoide.

Las válvulas solenoides están conformadas por una bobina, émbolo y pistón. Por ejemplo, las válvulas normalmente cerradas, presionan el resorte mantener el émbolo contra el orificio y así evitar que pase algún líquido a través de la válvula.

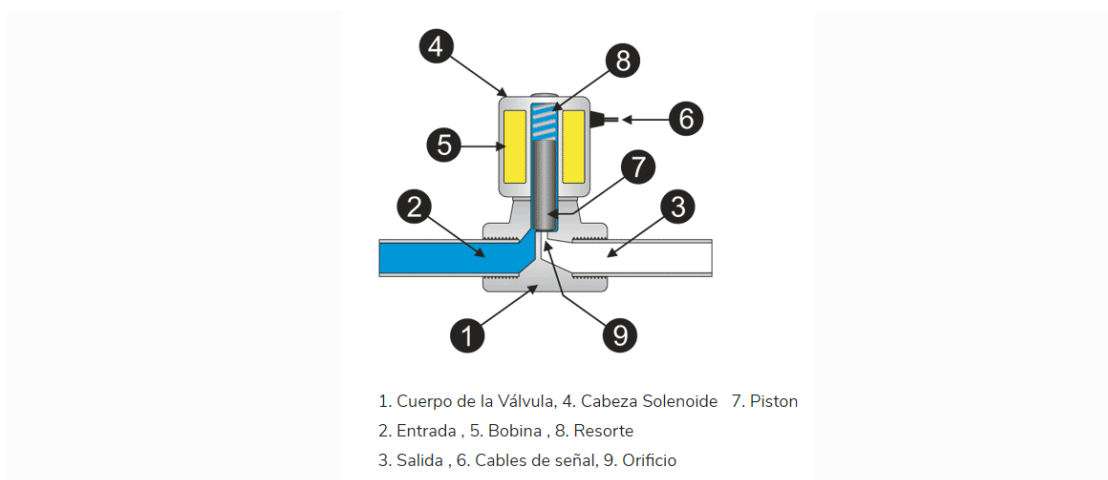


Figura 20: Partes de una válvula solenoide.

Fuente: <https://instrumentacionycontrol.net/valvulas-solenoides-y-variadores-de-velocidad-otros-elementos-finales-de-control/>

### **3.11.2. Funcionamiento de una válvula solenoide**

El funcionamiento de una válvula solenoide es controlar el flujo de líquidos o gases, es considerada como un actuador todo o nada, usualmente se usa para reemplazar válvulas manuales las cuales serán controladas en modo remoto.

Cuando la bobina del solenoide es energizada, el campo magnético resultante eleva el émbolo, lo que permite que el flujo pase a través de la válvula.

Tenemos dos tipos de válvulas solenoide válvula normalmente abierta y normalmente cerrada, En ambos tipos, las válvulas solenoides requieren un flujo constante de corriente eléctrica para permanecer abierto o cerrado según sea el caso porque una vez que se detiene la corriente, el campo electromagnético se dispersa y la válvula vuelve a su posición de reposo.

### **3.11.3. Tipos de solenoides**

Según el material, el diseño y la función.

- AC- solenoide laminado.
- DC- C solenoide del marco.
- Solenoide de bastidor DC-D.
- Solenoide lineal.
- Solenoide rotatorio.

#### **Solenoides laminados AC**

El solenoide laminado de CA consta de un núcleo de metal y una bobina de alambre. El núcleo está construido con un metal laminado para reducir la corriente parásita, esto ayuda a mejorar el rendimiento del solenoide.



Figura 21: Solenoide laminado AC

Fuente: <https://circuitdigest.com/article>

Un solenoide de CA tiene una ventaja especial porque puede entregar una gran cantidad de fuerza en el primer golpe. Esto se debe a que tienen una corriente de entrada alta.

Un solenoide laminado de CA se puede usar en una variedad de equipos que requieren acción inmediata, como equipos médicos, cerraduras, vehículos, equipos industriales, impresoras y en algunos electrodomésticos.

### **DC solenoide con marco en C**

El marco C se refiere al diseño del solenoide. El solenoide DC C-Frame solo tiene un marco con la forma de la letra C que está cubierto alrededor de la bobina.

El solenoide DC C-Frame se usa en múltiples aplicaciones diarias debido a su operación de carrera más controlada. Aunque se dice que es de configuración DC sino que también se pueden utilizar en equipos diseñados para alimentación de CA.



Figura 22 Solenoide con marco en C

Fuente de la imagen: <https://uk.rs-online.com>

Este tipo de solenoide se utiliza principalmente en máquinas de juego, persianas fotográficas, escáneres, disyuntores, contadores de monedas y cambiadores de billetes.

### **DC solenoide con marco en D**

Este tipo de solenoide tiene un marco de dos piezas que cubre las bobinas. Tienen una función similar a la de un solenoide de bastidor en C, por lo tanto, el bastidor en D también se puede utilizar con alimentación de CA y tiene una operación de carrera controlada.



Figura 23: Solenoide laminado AC.

Fuente: <https://circuitdigest.com/article>

El solenoide DC D-frame se utiliza tanto para aplicaciones convencionales como médicas, como máquinas de juego, cajeros automáticos y analizadores de sangre y gas.

### **Solenoide lineal**

Los solenoides lineales son los más conocidos. Consiste en una bobina de alambre que se enrolla alrededor de un núcleo metálico móvil que nos ayuda a aplicar fuerza de tracción o empuje a un dispositivo mecánico.

Este tipo de solenoides se usa principalmente en dispositivos de arranque. Este mecanismo de conmutación ayuda a completar un circuito y permite que la corriente fluya a través de un mecanismo.



Figura 24: Solenoide laminado AC.

Fuente: <https://circuitdigest.com/article>

Los solenoides lineales se utilizan especialmente en la automatización y mecanismos de puertas de alta seguridad y motores de arranque de automóviles y bicicletas.

### **Solenoide rotatorio**

Un solenoide giratorio es un tipo único de solenoide que se utiliza para diversas aplicaciones donde existe la necesidad de un proceso de control automático fácil. Funciona según el mismo principio que los otros solenoides y tiene los mismos elementos, una bobina y un núcleo, pero tienen una operación diferente.



Figura 25: Solenoide laminado AC.

Fuente: <https://circuitdigest.com/article>

El núcleo de metal está montado en un disco y tiene pequeñas ranuras debajo. El tamaño de las ranuras coincide exactamente con las ranuras en el cuerpo del solenoide. También tiene rodamientos de bolas para facilitar el movimiento.

Cuando se activa el solenoide, el núcleo se introduce en el cuerpo del solenoide y el núcleo del disco comienza a girar. Esta configuración tendrá un lugar de resorte entre el núcleo y el cuerpo del solenoide. Una vez que se desconecta la fuente de alimentación, el resorte empuja el núcleo del disco a su posición original.

El solenoide rotativo es más robusto en comparación con todos los otros tipos de solenoides. Originalmente fueron diseñados solo para los mecanismos de defensa, pero hoy en día podrá encontrarlos en muchos mecanismos industriales automatizados como el láser y el obturador.

### **Solenoide de tipo latch o de enganche**

Los solenoides de enganche utilizan el pulso de corriente eléctrica o material de imán permanente interno para mantener una posición establecida sin la aplicación constante de una corriente eléctrica.

Si bien el principio de funcionamiento es similar a todos los solenoides lineales, los solenoides de enganche son diferentes en que la polaridad eléctrica es importante para obtener un funcionamiento adecuado. A medida que la corriente fluye en una dirección energizando el campo de la bobina en el solenoide, se agrega a la atracción del imán permanente. La armadura es atraída hacia el poste estacionario dentro del cuerpo del solenoide.

Una vez que la armadura se haya movido completamente y esté en contacto con el poste, permanecerá en esta posición sin más entrada de energía eléctrica. La armadura se mantiene en esta posición mediante el imán permanente. Para liberar el solenoide de esta posición de retención, la atracción del imán de "retención" debe cancelarse enviando una corriente de regreso a través del campo de la bobina en la dirección opuesta.

Los solenoides de bloqueo son más eficientes cuando el tiempo de pulso es muy corto en comparación con el tiempo de retención. Si bien se puede usar un solenoide de enganche en aplicaciones de carrera corta y larga, la carrera del solenoide se debe minimizar para mejorar la eficiencia.

### **Solenoides tipo Latch**

El solenoide de BERMAD es una válvula piloto de tipo Latch, de 3 vías, formada por dos partes principales: un actuador de solenoide y una válvula piloto hidráulica de 3 vías. El actuador posee un grado de protección alto (IP 68), se encuentra revestida por una membrana hermética que lo protege del agua. Este solenoide consume energía

solamente al cambiar de posición, mediante un pulso eléctrico de muy corta duración. Esto prolonga la vida de las baterías y permite su recarga solar. En la base hidráulica se incluye un mando de operación manual y un soporte para acoplarlo a la válvula o a un distribuidor (manifold).

#### Características

- ✓ Materiales de avanzada tecnología
- ✓ Resistencia comprobada a presiones, caudales e inclemencias del tiempo
- ✓ Altamente duradero en entornos corrosivos
- ✓ Clase de protección: IP68; NEMA Tipo 6D
- ✓ Actuador seco y excelente acabado
- ✓ Operación fiable con agua cargada de partículas e impurezas
- ✓ Adecuado al uso con aguas turbias, enlodadas o corrosivas
- ✓ Tipo Latch, activado mediante un pulso eléctrico de muy corta duración
- ✓ Muy bajo consumo de energía
- ✓ Funciona con baterías de bajo voltaje
- ✓ Ahorro en costos de cables e infraestructura
- ✓ Compatible con la mayoría de controladores alimentados por baterías
- ✓ Aplicable a sistemas alimentados por energía solar
- ✓ Base hidráulica con soporte de instalación
- ✓ La alta capacidad de caudales aumenta la velocidad de respuesta
- ✓ Mando de operación manual
- ✓ Instalación sencilla sobre válvulas o distribuidores (manifold)
- ✓ Producto fiable y duradero con la marca de calidad de BERMAD

#### Aplicaciones

- Sistemas alejados del centro de control
- Sistemas de riego con aguas turbias o corrosivas
- Sitios sin energía eléctrica disponible
- Válvulas On/Off de control de presión y caudal controladas por solenoide
- Sistemas de válvulas múltiples
- Distribuidores de solenoides en cabezales de riego





Figura 26: Solenoide tipo latch.

Fuente: <https://www.bermad.com/wp-content/uploads/2016/06/ir-sol-982-3w-bb-sp-v1.pdf>

## Capítulo IV

### 4. Propuesta del diseño y cálculo de paneles solares.

#### 4.1. Diseño del sistema autónomo de riego por aspersión.

##### 4.1.1. Diagrama de bloques.

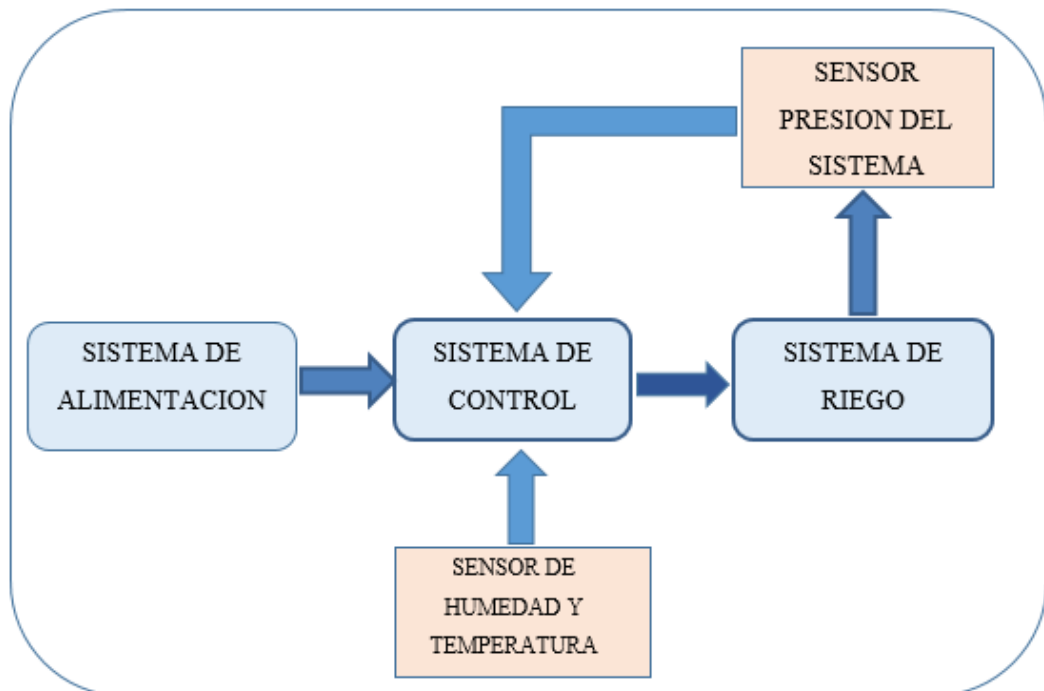


Figura 27: Diagrama de bloques del sistema.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26, se observa el diagrama de bloques que está formado por 3 procesos, en el sistema de alimentación se encuentran: los paneles, el banco de baterías y el controlador de energía, su principal función es el suministro permanente. El sistema de control está formado por el PLC que se encarga de controlar el riego de las vías en base al programa y a las señales de los sensores, los sensores brindarán la información de las condiciones físicas del medio ambiente. Y el sistema de riego está formado: por los aspersores y las electroválvulas.

El sistema de alimentación, los paneles solares son los que van a generar energía para el nuevo sistema, el sistema de riego va trabajar las 24 horas del día, y por eso necesita energía eléctrica en la noche, esta es la razón por la que se tiene un banco de baterías, así se obtiene un buen rendimiento de las baterías durante su carga en el día y para su descarga en la noche es necesario el uso de un controlador de energía, que pueda controlar la carga y la descarga de las baterías, logrando un eficiente funcionamiento y mayor tiempo de vida de las mismas.

Las baterías AGM, son baterías cerradas, no necesitan ventilación, ni mantenimiento, tienen hasta 7000 ciclos (carga y descarga), una mejor respuesta a corrientes elevadas y descargas profundas e ideales para instalaciones de paneles solares de consumo medio.

Más adelante realizaremos el cálculo para determinar la cantidad de paneles, la cantidad de baterías y el tipo de controlador para el nuevo sistema, estos cálculos se realizarán en base al consumo de los equipos que se van a utilizar en el presente proyecto.

## **4.2. Desarrollo del proyecto.**

### **4.2.1. Condiciones actuales del sistema instalado actualmente.**

En el sistema de riego actual existe una Unidad Terminal Remota Principal (RTU-MASTER) o central, esta unidad es para todo el sistema de riego, el cual está conformado por varias Unidades Terminales Remotas Esclavo (RTU-SLAVE) o módulos locales, en la actualidad existen 14 módulos que están ubicados a lo largo de todo el recorrido que realizan los camiones de acarreo desde la mina hasta el área de chancado primario o la zona de almacenamiento, la central se comunica mediante una señal de radio frecuencia (RF), la comunicación se realiza entre la central y los módulos, para esto existen 3 repetidoras que permiten que la señal llegue a todos los módulos. Existen factores climatológicos que afectan al funcionamiento de este sistema, por ejemplo: la neblina, cuando se tiene mucha neblina existe pérdida de comunicación y por esta razón algunos módulos no funcionan, otro factor es la línea de vista, como se sabe el movimiento de tierra en las minas es constante, debido a esto

aparecen nuevos cerros o los reubican, y esto afecta la comunicación, porque ya no se tiene línea de vista, otro factor que se tiene es la baja presión de agua en el sistema.

La electrónica usada en los módulos no cuenta con un grado de protección adecuado para las condiciones climatológicas que hay en mina, existe bastante humedad, polvo y calor. Estos factores climatológicos afectan a la electrónica usada en la actualidad, también se pudo observar que la forma en la que se encuentran instalados el sistema de control hidráulico y el sistema de control eléctrico no son los apropiados, la razón es que ambos sistemas se encuentran en el interior del módulo, cuando se realiza el mantenimiento, el cambio de las válvulas solenoides o cambio de las líneas de agua, existe la posibilidad de dañar la electrónica que se encuentran dentro del módulo.

Por cada módulo se tiene de 4 a 9 solenoides las cuales se activan para regar la vía. Cada módulo funciona entre 10 y 15 minutos aproximadamente en forma continua.

N° DE CAJA	N° DE ASPERSOR CONTROLADO	TOTAL DE ASPERSORES CONTROLADOS
1	01-02-03-04	4
2	05-06-08-08-09-10	6
3	11-12-13-14-15-16-17	7
4	18-19-20-21-22-23-24-25	8
5	26-27-28-29-30-31-32-33	8
6	34-35-36-37-37-39-40	7
7	41-42-43-44-45-46-47-48	8
8	49-50-51-52-53-54-55	7
9	56-57-58-59-60-61-62-63	8
10	64-65-66-67-68	5
11	69-70-71-72-73-74-75-76-77	9
12	78-79-80-81-82-83-84-85	8
13	86-87-88-89-90	5
14	91-92-93-94-95-96	6
Total de modulos		96

Tabla 8: Tabla de distribución de los aspersores.

Fuente: Elaboración propia.

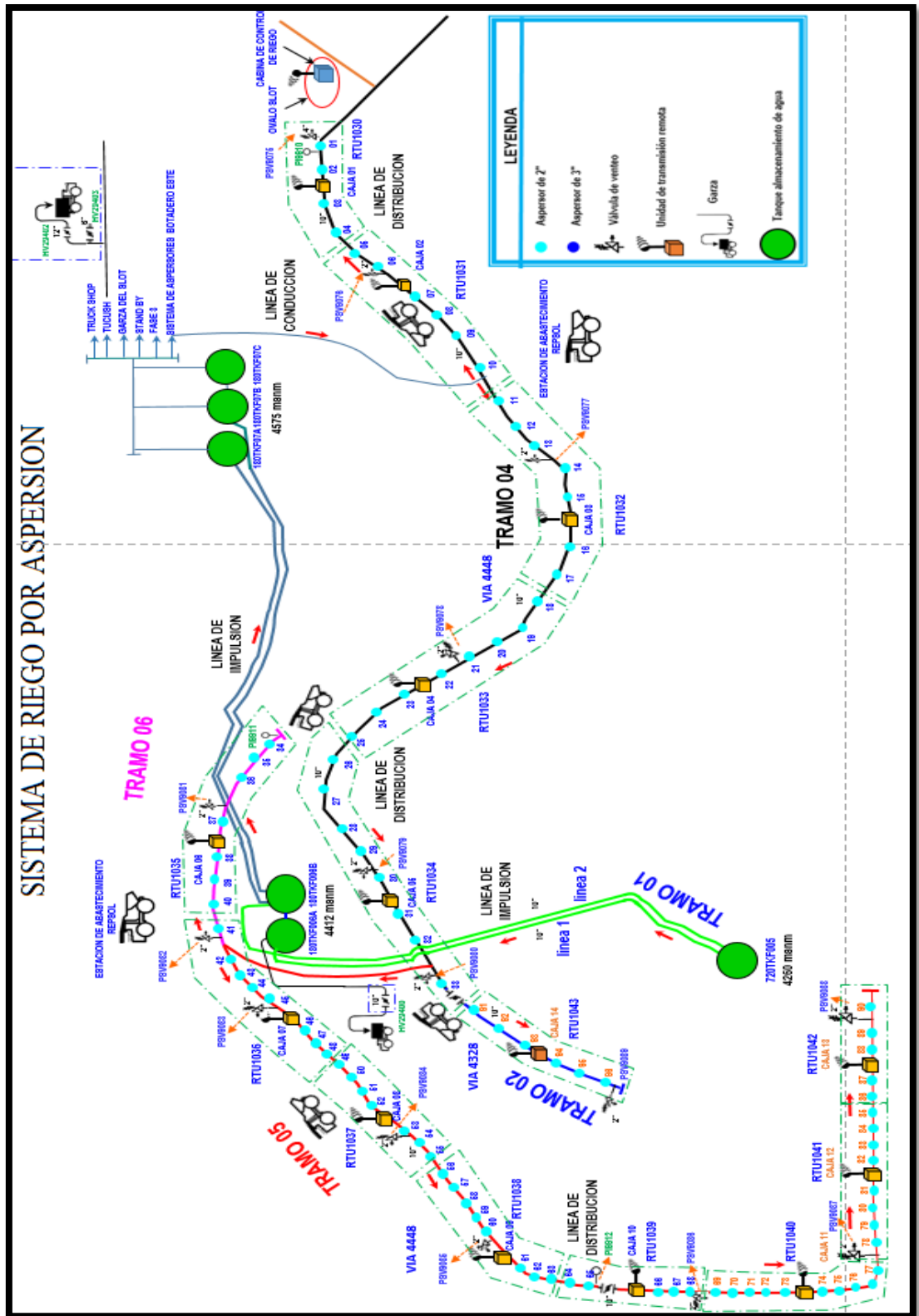


Figura 28: Sistema de riego.

Fuente: Elaboración propia.

Se va a diseñar un sistema de control autónomo de riego por aspersión el cual va a evaluar las condiciones de la vía, el factor climatológico (el nivel de humedad) y la presión del sistema hidráulico (almacenamiento de agua), y en base a los datos recopilados el sistema pueda tomar una decisión de regar o no regar la vía.

En la figura 27, se observa la ubicación de las unidades de transmisión remota (RTU) a lo largo de las vías por donde transitan los camiones, las RTU controlan la activación y desactivación de los aspersores, cada RTU cuenta con una cantidad de aspersores que se detalla en la tabla 8, las RTU funcionan en base a la señal que reciben de la cabina de control de riego, también se observan los tanques de almacenamiento de agua TKF 007, el cual es alimentado por los tanques TKF006 y TKF005.

Para que el sistema de riego funcione se debe tener un nivel de agua en el tanque TKF 007 superior al 30%, y así tener una presión superior de 8 PSI en los aspersores, así mismo las válvulas de alivio y los manómetros deben estar funcionando correctamente, cuando las RTU reciban la señal de activación desde la cabina de control, los aspersores iniciarán con el riego en las vías de forma intercalada por un tiempo de 10 minutos.

La propuesta es utilizar un nano PLC de la familia Allen Bradley de la serie 800 que tiene 4 entradas analógicas y 8 salidas digitales, las señales analógicas que se manejarán serán de temperatura, humedad y presión, los factores climatológicos que se tomarán en cuenta serán la temperatura y la humedad, con estos valores se podrá evaluar si es necesario regar la vía, también se tomará en cuenta la presión del sistema hidráulico para poder dar inicio al riego de la vía, porque se necesita un mínimo de 8 PSI en el sistema de control hidráulico para poder activar las válvulas hidráulicas y así regar todo el ancho de la vía.

### **4.3. Instalación de panel solar.**

En la instalación del panel solar se define el ángulo de inclinación del panel solar y la orientación, el panel solar será instalado en la salida del tajo (latitud 9°33'01.9"S y la longitud 77°03'07.9"W) de la minera Antamina, la cual queda en el distrito de San Marco, provincia de Huarí en la región de Ancash en Perú.

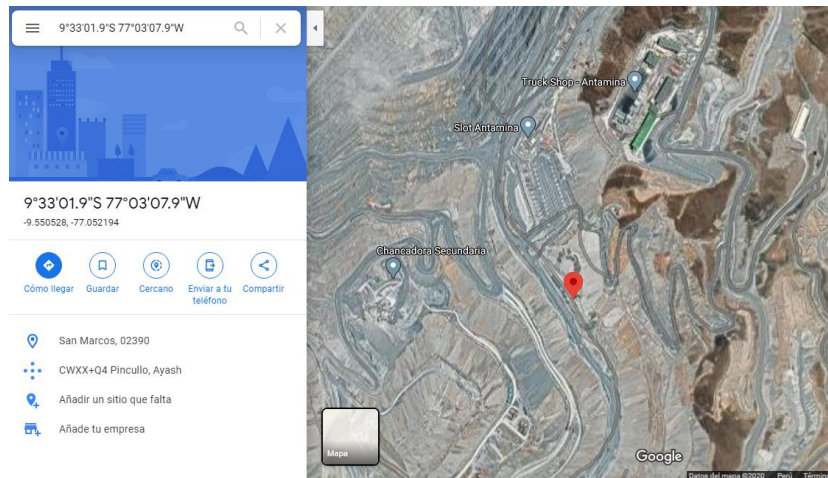


Figura 29: Ubicación de la UM.

Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Antamina/@-9.5727255,-77.0728395,12347m>

La latitud ( $\phi$ ) es la distancia angular que existe entre cualquier punto de la superficie de la tierra y la línea del ecuador.

La longitud (L) es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie de la tierra y el meridiano de Greenwich.

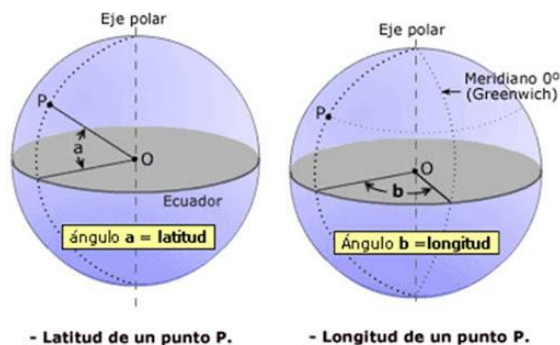


Figura 30: Latitud y Longitud.

Fuente: <http://www.locosporlageologia.com.ar/coordenadas-geograficas-parte-2/>

Si el panel solar es instalado en el hemisferio Sur, se tendrá que instalar el panel solar orientado hacia el hemisferio Norte, y si el panel solar es instalado en el hemisferio Norte, el panel solar tendrá que estar orientado hacia el Sur.

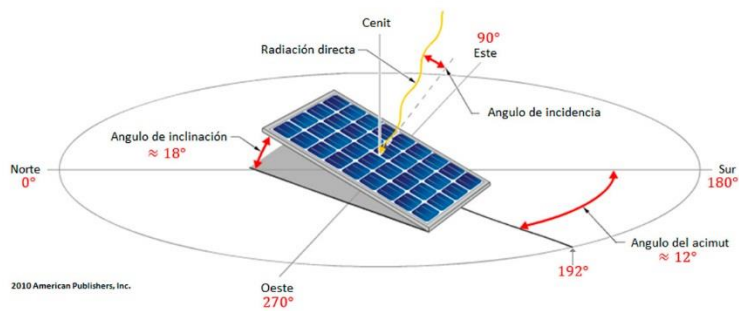


Figura 31: Orientación del panel solar.

Fuente: <https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica>

El departamento de Ancash se encuentra cerca de la línea ecuatorial, siendo esta condición favorable para el uso de los paneles solares, si el panel solar se encuentra a menor distancia de la línea ecuatorial el ángulo de inclinación estará dentro del rango de  $0^\circ$  a  $15^\circ$ , estos valores se pueden observar en la siguiente tabla 9.

Latitud del lugar en grados	Angulo de inclinación fijo
$0^\circ$ a $15^\circ$	$15^\circ$
$15^\circ$ a $25^\circ$	la misma latitud
$25^\circ$ a $30$	latitud más de $5^\circ$
$30^\circ$ a $35^\circ$	latitud más de $10^\circ$
$35^\circ$ a $40^\circ$	latitud más de $15^\circ$
$40^\circ$ a mas	latitud más de $20^\circ$

Tabla 9: Ángulo de inclinación.

Fuente: Elaboración propia.

Para saber cómo el ángulo de inclinación interviene en la cantidad y el tiempo que el panel solar está recibiendo la radiación solar durante el día, vamos a aplicar el método difuso isotrópico, el cual nos indicará la cantidad de radiación solar que va a recibir el panel solar durante un día o durante un período determinado, pero para



obtener estos valores se tiene que contar con algunos valores, como: el albedo, el ángulo de inclinación inicial, la constante solar y la latitud.

Se tiene que calcular primero la declinación solar en un determinado día del año, para esto se utilizará la fórmula 2, conocida también como la ecuación de Cooper.

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \left(\frac{284 + n}{365}\right)\right)$$

Fórmula 1: Declinación solar.

Donde:

$\delta$ : Declinación solar (° grados).

n: Es un día del año, por ejemplo: el 16 de febrero es el día 47 del año.

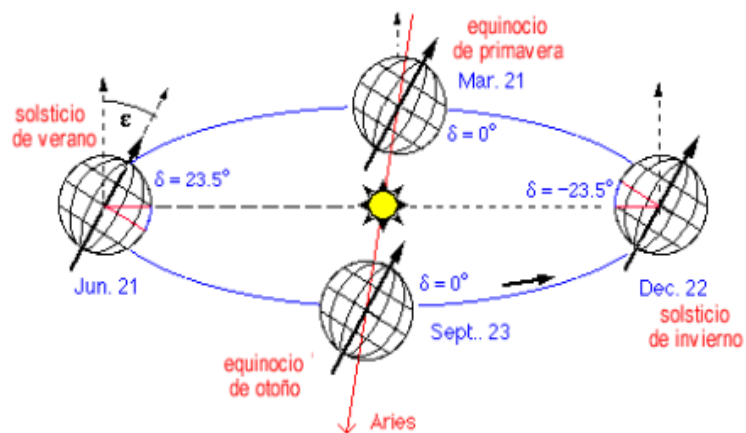


Figura 32: Rotación de la tierra.

Fuente: <https://personales.unican.es/gonzalmi/ssolar/articulos/movapsol.html>

En la tabla 10 se puede observar la declinación solar de un día por cada mes durante un año, este valor oscila entre  $-23.5^\circ$  y  $23.5^\circ$ , para el primero de enero el valor de la declinación es:  $-20.9^\circ$  y para el 11 de junio es  $23.1^\circ$ .

MES	FECHA	Día del año	declinación solar $\delta$
ENERO	17	1	-20.9
FEBRERO	16	47	-13.0
MARZO	16	75	-2.4
ABRIL	15	105	9.4
MAYO	15	135	18.8
JUNIO	11	162	23.1
JULIO	17	198	21.2
AGOSTO	16	228	13.5
SETIEMBRE	15	258	2.2
OCTUBRE	15	288	-9.6
NOVIEMBRE	14	318	-18.9
DICIEMBRE	10	344	-23.0

Tabla 10: Declinación solar.

Fuente: Elaboración Propia.

En las figuras siguientes se observa la posición del sol con un ángulo de declinación de  $20.6^\circ$  y con una latitud  $9.54^\circ$  para el observador, y el ángulo de incidencia de los rayos solares en la superficie terrestre.

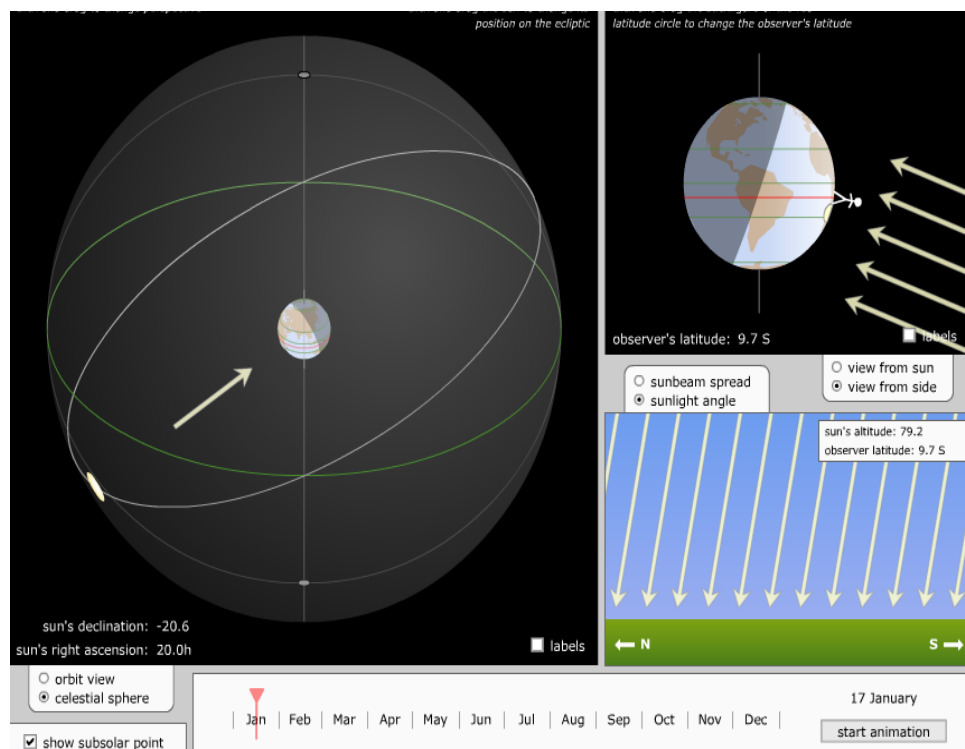


Figura 33: Ángulo de inclinación para Enero.

Fuente:

<http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/eclipticsimulator.html>

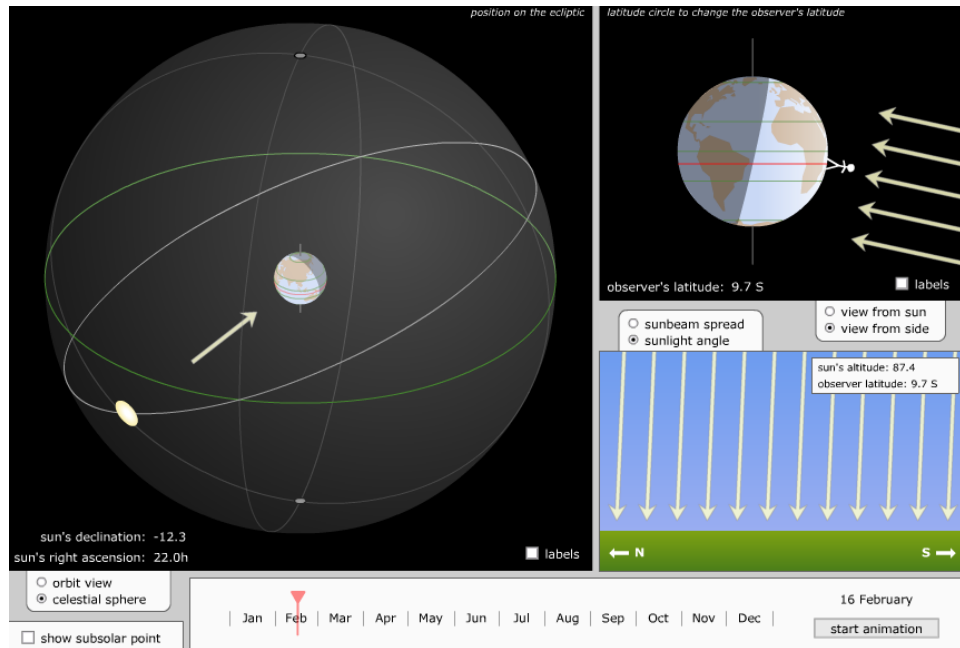


Figura 34: Ángulo de inclinación para Febrero.

Fuente:

<http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/eclipticsimulator.html>

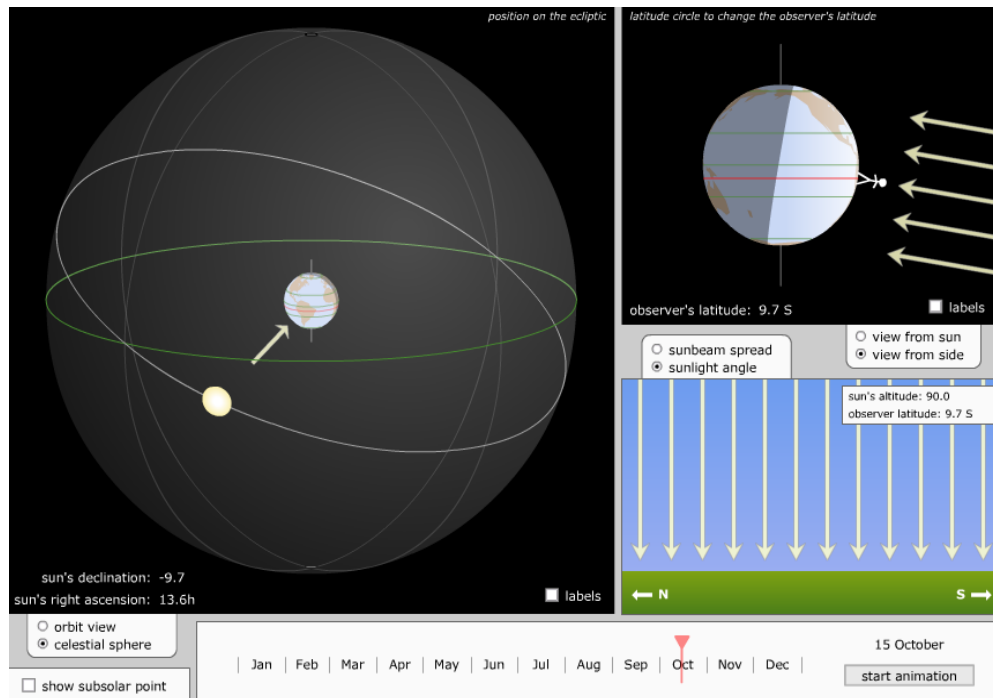


Figura 35: Ángulo de inclinación para Octubre.

Fuente:

<http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/eclipticsimulator.html>

Con la fórmula 3, se calcula el ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal, este valor está relacionado directamente con la latitud del lugar donde será instalado el panel solar, para la tabla 11 se tiene una latitud de -9.54.

$$\omega_s = -\arcsin(-\tan(\delta) * \tan(\phi))$$

Fórmula 2: Ángulo de salida del sol al amanecer.

Donde:

$\omega_s$ : ángulo de salida del sol al amanecer ( $^{\circ}$  grados).

$\delta$ : declinación solar.

$\phi$ : latitud.

MES	Fecha	Día del año	Declinación solar $\delta$	Ángulo salida sol P.H. Ws
ENERO	17	1	-20.9	-93.7
FEBRERO	16	47	-13.0	-92.2
MARZO	16	75	-2.4	-90.4
ABRIL	15	105	9.4	-88.4
MAYO	15	135	18.8	-86.7
JUNIO	11	162	23.1	-85.9
JULIO	17	198	21.2	-86.3
AGOSTO	16	228	13.5	-87.7
SETIEMBRE	15	258	2.2	-89.6
OCTUBRE	15	288	-9.6	-91.6
NOVIEMBRE	14	318	-18.9	-93.3
DICIEMBRE	10	344	-23.0	-94.1

Tabla 11: Ángulo de salida del sol al amanecer.

Fuente: Elaboración propia.

También se tiene que calcular el ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado, para esto se utilizará la fórmula 4.

$$\omega_{ss} = \max[\omega_s; -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi - \beta))$$

Fórmula 3: Ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado

Donde:

$\omega_s$ : ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal (° grados).

$\delta$ : declinación solar.

$\phi$ : latitud.

$\beta$ : inclinación del panel solar.

En la tabla 12, se puede observar los valores del ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado, para ambos casos se puede observar que el valor es el mismo, esto es debido a que la latitud se encuentra cerca de la línea ecuatorial.

MES	Día del año	Declinación solar $\delta$	Ángulo salida sol P.H. $W_s$	Ángulo salida sol P.I. $W_{ss}$
ENERO	1	-20.9	-93.7	-93.7
FEBRERO	47	-13.0	-92.2	-92.2
MARZO	75	-2.4	-90.4	-90.4
ABRIL	105	9.4	-88.4	-88.4
MAYO	135	18.8	-86.7	-86.7
JUNIO	162	23.1	-85.9	-85.9
JULIO	198	21.2	-86.3	-86.3
AGOSTO	228	13.5	-87.7	-87.7
SETIEMBRE	258	2.2	-89.6	-89.6
OCTUBRE	288	-9.6	-91.6	-91.6
NOVIEMBRE	318	-18.9	-93.3	-93.3
DICIEMBRE	344	-23.0	-94.1	-94.1

Tabla 12: Ángulo de salida del sol P.I.

Fuente: Elaboración propia.

Con la fórmula 5, se calcula el factor de excentricidad de la órbita terrestre, es la distancia que existe entre el sol y la tierra en un día determinado.

$$\varepsilon = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right)$$

Fórmula 4: Factor de excentricidad.

Donde:

n: es un día del año, por ejemplo: el 16 de febrero es el día 47 del año.

$\varepsilon$ : Factor de excentricidad de la órbita terrestre

La tierra tiene una órbita elíptica alrededor del sol es por esta razón que se calcula el factor de excentricidad. En la tabla 13, se puede observar los valores del factor de excentricidad para cada día que se quiere calcular la radiación solar global sobre un plano inclinado.

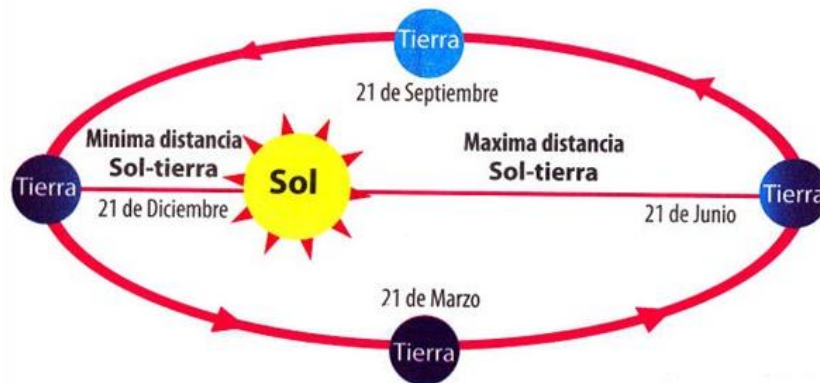


Figura 36: órbita elíptica alrededor del sol.

Fuente: <https://atlasgeografico.net/el-movimiento-de-la-tierra.html>

MES	Día del año	Declinación solar $\delta$	Factor de excentricidad E
ENERO	17	-20.9	1.0316
FEBRERO	47	-13.0	1.0228
MARZO	75	-2.4	1.0091
ABRIL	105	9.4	0.9923
MAYO	135	18.8	0.9774
JUNIO	162	23.1	0.9690
JULIO	198	21.2	0.9682
AGOSTO	228	13.5	0.9766
SETIEMBRE	258	2.2	0.9912
OCTUBRE	288	-9.6	1.0080
NOVIEMBRE	318	-18.9	1.0228
DICIEMBRE	344	-23.0	1.0309

Tabla 13: factor de excentricidad.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la irradiancia solar extraterrestre sobre un plano inclinado, es la cantidad de energía que emite el sol, por unidad de área, que se recibe por encima de la atmosfera terrestre, de forma continua, esta energía varía de acuerdo a la distancia y la ubicación en la tierra con respecto al sol.

Con la fórmula 6 se puede calcular la irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal.

$$H = \left(\frac{T}{\pi}\right) * I * \varepsilon * \left[-\left(\frac{\pi}{180}\right) * (\omega_s * \sin(\phi) * \sin(\delta) - (\cos(\phi) * \cos(\delta) * \sin(\omega_s)))\right]$$

Fórmula 5: Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano inclinado.

Donde:

H: la irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal (wh/m2).

T: es la longitud del día (24h).

I: es la constante solar (1367w/m2).

E: factor de excentricidad.

W: ángulo de salida del sol al amanecer.

$\phi$ : latitud del lugar.

$\delta$ : declinación solar.

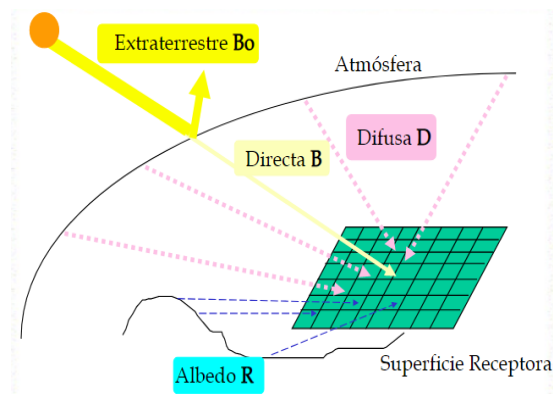


Figura 37: Irradiación solar extraterrestre sobre un plano inclinado.

Fuente: <https://slideplayer.es/slide/2676824/>

En la tabla 14, se puede observar que se tiene menor irradiancia solar extraterrestre en el mes de junio y julio, esto indica que la tierra se encuentra a mayor distancia del sol.



MES	Día del año	Declinación solar $\delta$	factor de excentricidad E	Irradiancia extraterrestre P.H. Ho
ENERO	17	-20.9	1.0316	10945.705
FEBRERO	47	-13.0	1.0228	10895.102
MARZO	75	-2.4	1.0091	10498.162
ABRIL	105	9.4	0.9923	9642.889
MAYO	135	18.8	0.9774	8688.218
JUNIO	162	23.1	0.9690	8170.131
JULIO	198	21.2	0.9682	8364.667
AGOSTO	228	13.5	0.9766	9170.864
SETIEMBRE	258	2.2	0.9912	10094.924
OCTUBRE	288	-9.6	1.0080	10695.915
NOVIEMBRE	318	-18.9	1.0228	10881.357
DICIEMBRE	344	-23.0	1.0309	10890.287

Tabla 14: Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano.

Fuente: Elaboración Propia.

Con la fórmula 7, se va a calcular el índice de claridad, es decir la relación de radiación que existe entre superficie de la tierra y la superficie extraterrestre, que nos va a indicar el nivel de transparencia de la atmosfera de la tierra.

$$K_{tm} = \frac{G}{H}$$

Fórmula 6: Índice de claridad.

Donde:

K<sub>tm</sub>: índice de claridad.

G: radiación diaria horizontal sobre la superficie de la tierra.

H: radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal.

Índice de claridad K <sub>tm</sub>	Tipo de día
K <sub>tm</sub> ≥ 0.6	Días claros
0.3 ≤ K <sub>tm</sub> ≤ 0.6	Días parcialmente nublados
K <sub>tm</sub> ≤ 0.3	Días nublados

Tabla 15: Índice de claridad.

Fuente: Elaboración propia.

En el Tabla 16, se puede observar que los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre son los meses que se tiene menor índice de claridad pero muy próximo a 0.6, tomando como referencia la Tabla 15 podemos deducir que mayor parte del año se tiene un cielo despejado, lo cual es muy favorable para el sistema de paneles solares.

MES	Declinación solar $\delta$	factor de excentricidad E	Irradiancia extraterrestre P.H. Ho	índice claridad Ktm
ENERO	-20.9	1.0316	10945.705	0.584
FEBRERO	-13.0	1.0228	10895.102	0.587
MARZO	-2.4	1.0091	10498.162	0.609
ABRIL	9.4	0.9923	9642.889	0.663
MAYO	18.8	0.9774	8688.218	0.735
JUNIO	23.1	0.9690	8170.131	0.782
JULIO	21.2	0.9682	8364.667	0.764
AGOSTO	13.5	0.9766	9170.864	0.697
SETIEMBRE	2.2	0.9912	10094.924	0.633
OCTUBRE	-9.6	1.0080	10695.915	0.597
NOVIEMBRE	-18.9	1.0228	10881.357	0.587
DICIEMBRE	-23.0	1.0309	10890.287	0.587

Tabla 16: Índice de claridad.

Fuente: Elaboración propia.

La fracción difusa está relacionado inversamente proporcional con el índice de claridad.

$$F_{DM} = 1 - 1.13 * K_{TM}$$

Fórmula 7: Fracción difusa.

Donde:

$F_{DM}$ : fracción difusa.

Ktm: índice de claridad.

MES	Factor de excentricidad E	Irradiancia extraterrestre P.H. Ho	Índice claridad Ktm	Fracción difusa Fdm
ENERO	1.0316	10945.705	0.584	0.340
FEBRERO	1.0228	10895.102	0.587	0.337
MARZO	1.0091	10498.162	0.609	0.312
ABRIL	0.9923	9642.889	0.663	0.251
MAYO	0.9774	8688.218	0.735	0.169
JUNIO	0.9690	8170.131	0.782	0.116
JULIO	0.9682	8364.667	0.764	0.137
AGOSTO	0.9766	9170.864	0.697	0.213
SETIEMBRE	0.9912	10094.924	0.633	0.285
OCTUBRE	1.0080	10695.915	0.597	0.325
NOVIEMBRE	1.0228	10881.357	0.587	0.336
DICIEMBRE	1.0309	10890.287	0.587	0.337

Tabla 17: fracción difusa.

Fuente: Elaboración propia.

La radiación difusa sobre un plano horizontal.

$$D_o = F_{DM} * G_o$$

Fórmula 8: radiación difusa.

Donde:

$D_o$ : radiación difusa sobre un plano horizontal (wh/m2).

$F_{DM}$ : fracción difusa.

$G_o$ : radiación global.

En la tabla 18, se puede observar que en el mes de julio la radiación difusa es la menor de todo el año, por eso se puede concluir que va a ser el mes con una menor cantidad de nubes.

MES	Irradiancia extraterrestre P.H. Ho	Índice claridad Ktm	fracción difusa Fdm	radiación difusa P.H. Do
ENERO	10945.705	0.584	0.340	2174.623
FEBRERO	10895.102	0.587	0.337	2155.044
MARZO	10498.162	0.609	0.312	1994.919
ABRIL	9642.889	0.663	0.251	1605.099
MAYO	8688.218	0.735	0.169	1079.328
JUNIO	8170.131	0.782	0.116	742.566
JULIO	8364.667	0.764	0.137	873.908
AGOSTO	9170.864	0.697	0.213	1358.820
SETIEMBRE	10094.924	0.633	0.285	1819.359
OCTUBRE	10695.915	0.597	0.325	2076.178
NOVIEMBRE	10881.357	0.587	0.336	2149.695
DICIEMBRE	10890.287	0.587	0.337	2153.172

Tabla 18: Radiación difusa.

Fuente: Elaboración propia.

Con la fórmula 10, se calcula la irradiancia directa sobre un panel solar horizontal.

$$H_{dm} = G_o - D_o$$

Fórmula 9: Irradiancia directa sobre un panel solar horizontal.

Donde:

$H_{dm}$ : Irradiancia directa sobre un panel solar horizontal (wh/m2).

$G_o$ : radiación global.

$D_o$ : radiación difusa sobre un plano horizontal.

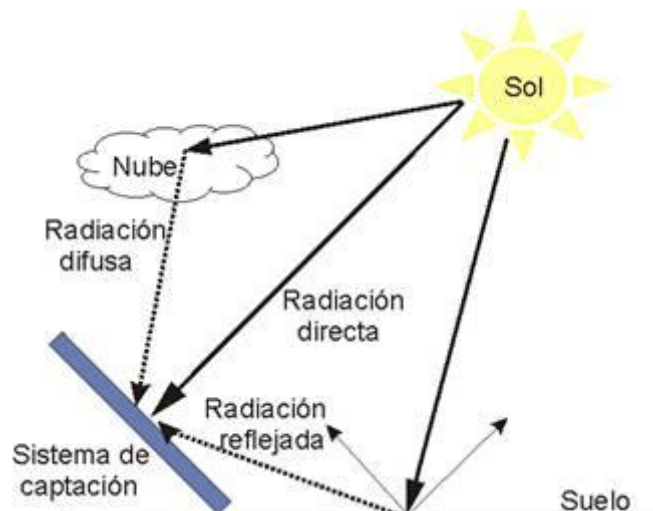


Figura 38: Irradiancia directa sobre un panel solar horizontal.

Fuente: <https://pedrojherandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

La irradiancia directa es proporcional al índice de claridad, siendo en el mes de julio las más alta irradiancia directa que se tendrá en esta zona.

MES	índice de claridad K <sub>tm</sub>	fracción difusa F <sub>dm</sub>	radiación difusa P.H. D <sub>o</sub>	irradiancia directa P.H. H <sub>dm</sub>
ENERO	0.521	0.411	0.214	1095.641
FEBRERO	0.362	0.591	0.214	761.509
MARZO	0.255	0.712	0.182	536.853
ABRIL	0.192	0.783	0.150	403.779
MAYO	0.161	0.818	0.132	339.558
JUNIO	0.151	0.830	0.125	317.216
JULIO	0.155	0.824	0.128	326.681
AGOSTO	0.177	0.800	0.142	373.006
SETIEMBRE	0.226	0.745	0.168	475.040
OCTUBRE	0.320	0.639	0.204	672.530
NOVIEMBRE	0.470	0.469	0.220	988.697
DICIEMBRE	0.587	0.336	0.198	1234.927

Tabla 19: Irradiancia directa sobre un panel solar horizontal.

Fuente: Elaboración propia.

Para encontrar la radiación solar en un plano inclinado, se tiene que multiplicar por un factor de corrección para paneles solares inclinados.

$$K = \frac{\omega_{ss} * \frac{\pi}{180} * [\text{sign}(\varnothing)] * \sin(\delta) * \sin(|\varnothing| - \beta) + \cos(\delta) * \cos(|\varnothing| - \beta) * \sin(\omega_{ss})}{\omega_{ss} * \frac{\pi}{180} * \sin(\delta) * \sin(\varnothing) + \cos(\delta) * \cos(\varnothing) * \sin(\omega_s)}$$

Fórmula 10: Factor de corrección.

Donde:

K: factor de corrección para paneles solares inclinados.

∅: latitud.

$\delta$ : declinación solar.

$\beta$ : ángulo de inclinación.

$\omega_s$ : ángulo de salida del sol al amanecer sobre el plano horizontal.

$\omega_{ss}$ : ángulo de salida del sol al amanecer sobre el plano inclinado.

En la tabla 20, se observa el valor del factor de corrección, el cual tiene un promedio 1.01, que indica que es mínima la corrección que se tiene que realizar para los paneles solares inclinados.

MES	índice claridad Ktm	fracción difusa Fdm	radiación difusa P.H. Do	irradiancia directa P.H. Hdm	factor de corrección paneles inclinados K
ENERO	0.584	0.340	2174.623	4215.377	0.81
FEBRERO	0.587	0.337	2155.044	4234.956	0.88
MARZO	0.609	0.312	1994.919	4395.081	0.98
ABRIL	0.663	0.251	1605.099	4784.901	1.09
MAYO	0.735	0.169	1079.328	5310.672	1.18
JUNIO	0.782	0.116	742.566	5647.434	1.22
JULIO	0.764	0.137	873.908	5516.092	1.20
AGOSTO	0.697	0.213	1358.820	5031.180	1.12
SEPTIEMBRE	0.633	0.285	1819.359	4570.641	1.02
OCTUBRE	0.597	0.325	2076.178	4313.822	0.91
NOVIEMBRE	0.587	0.336	2149.695	4240.305	0.83
DICIEMBRE	0.587	0.337	2153.172	4236.828	0.877

Tabla 20: Factor de corrección.

Fuente: Elaboración propia.

Para poder calcular la radiación global sobre un plano inclinado mediante el método difuso isotrópico es necesario conocer la radiación solar directa sobre un plano solar inclinado, la radiación solar difusa sobre un plano solar inclinado y la radiación solar albedo sobre un plano solar inclinado, la suma de estos valores dará el valor de la radiación global en un plano inclinado.

La radiación solar directa sobre un plano solar inclinado:

$$H_B = H_{dm} * K$$

Fórmula 11: La radiación solar directa.

Donde:

$H_B$ : radiación solar directa sobre un plano solar inclinado (wh/m<sup>2</sup>).

$H_{dm}$ : Irradiancia directa sobre un panel solar horizontal.

K: factor de corrección para paneles solares inclinados.

La radiación solar difusa sobre un plano solar inclinado:

$$D_B = D_o * \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right)$$

Fórmula 12: La radiación solar difusa.

Donde:

$D_o$ : radiación difusa sobre un plano horizontal (wh/m<sup>2</sup>).

$\beta$ : ángulo de inclinación.

La radiación solar albedo sobre un plano solar inclinado:

$$AL_B = \rho * \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

Fórmula 13: La radiación solar albedo.

Donde:

$AL_B$ : radiación solar albedo sobre un plano solar inclinado (wh/m<sup>2</sup>).

$\rho$ : albedo.

$\beta$ : ángulo de inclinación (° grados).

El valor de la radiación albedo está relacionado con el valor del ángulo de inclinación, para este caso se tiene un valor de 0° en el ángulo de inclinación del panel solar.

MES	factor de corrección paneles inclinados K	radiación directa panel solar inclinado Hb	radiación difusa panel solar inclinado Db	radiación albedo panel solar inclinado AL b	radiación global panel solar inclinado Gb
ENERO	0.81	3406.152	2174.623	0.000	5580.775
FEBRERO	0.88	3733.465	2155.044	0.000	5888.509
MARZO	0.98	4297.928	1994.919	0.000	6292.847
ABRIL	1.09	5200.126	1605.099	0.000	6805.225
MAYO	1.18	6243.949	1079.328	0.000	7323.277
JUNIO	1.22	6879.011	742.566	0.000	7621.577
JULIO	1.20	6614.643	873.908	0.000	7488.551
AGOSTO	1.12	5658.361	1358.820	0.000	7017.180
SETIEMBRE	1.02	4663.474	1819.359	0.000	6482.833
OCTUBRE	0.91	3935.520	2076.178	0.000	6011.698
NOVIEMBRE	0.83	3505.337	2149.695	0.000	5655.032
DICIEMBRE	0.877	3715.674	2153.172	0.000	5868.846

Tabla 21: Radiación global panel solar inclinado.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en los gráficos siguientes se tiene una mayor radiación solar en los ángulos de inclinación menores a 40°, el de mayor radiación solar se da en el ángulo de inclinación de 10°, siendo esta la mejor opción y garantizando que el panel solar va a recibir la mayor radiación solar durante el año, es importante definir el ángulo de inclinación óptimo y el índice de claridad del área durante un año.

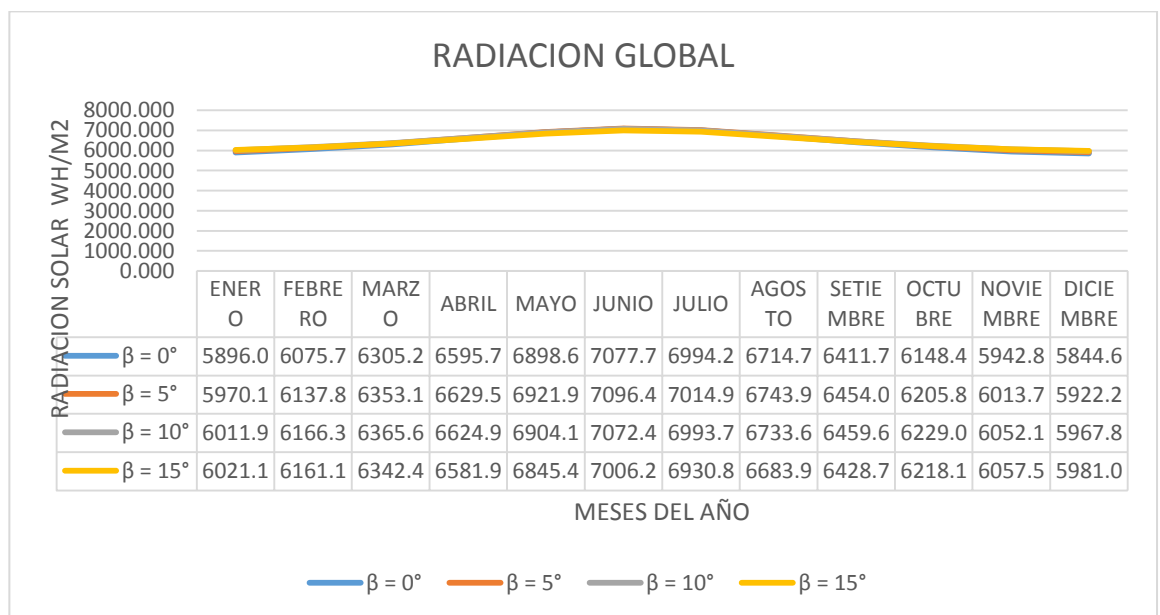


Figura 39: Radiación global para B = 0 hasta B = 15.



Fuente: Elaboración propia.

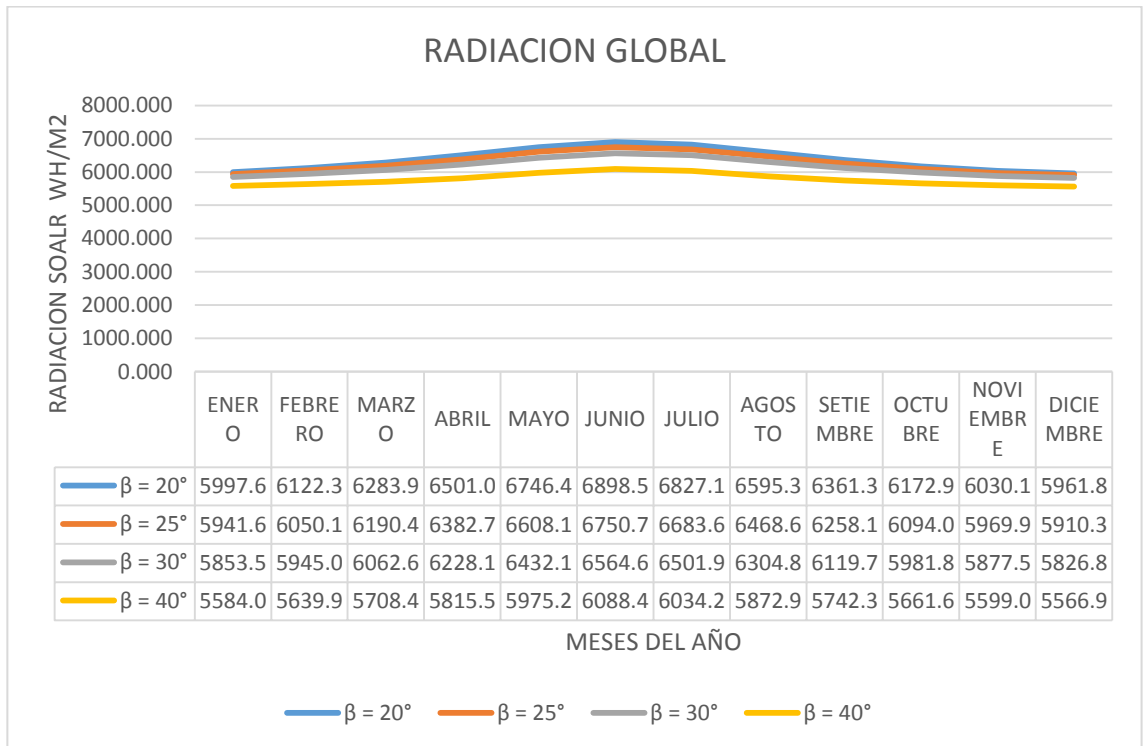


Figura 40: Radiación global para B = 20 hasta B = 40.

Fuente: Elaboración propia.

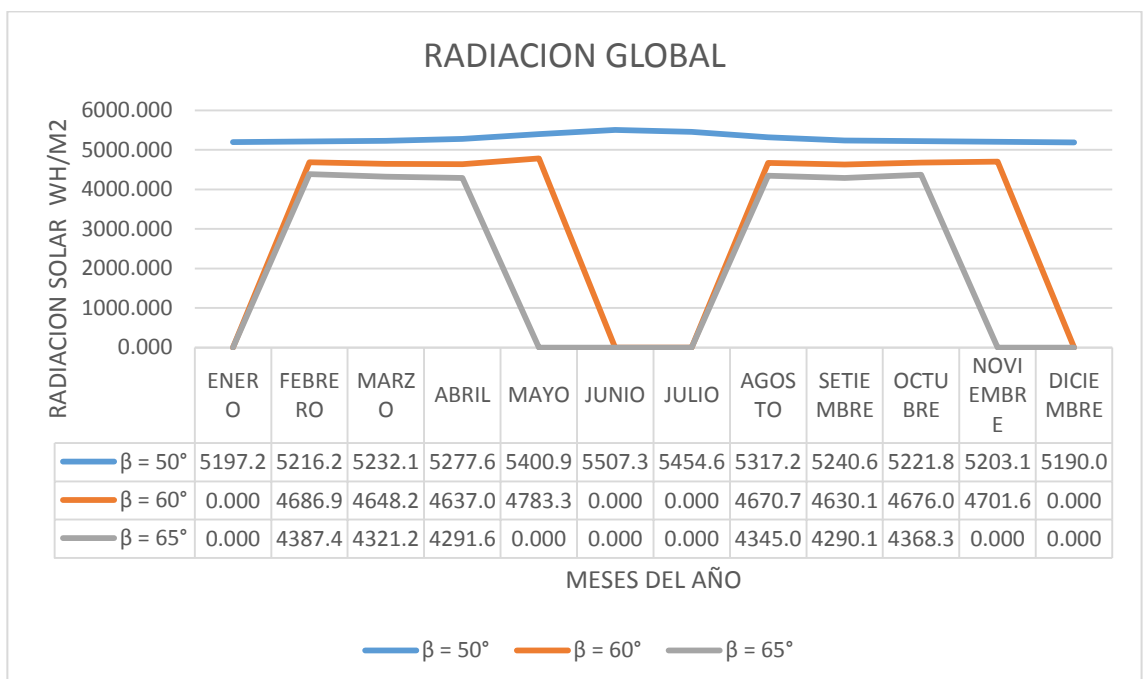


Figura 41: Radiación global para B = 50 hasta B = 65.

Fuente: Elaboración propia.

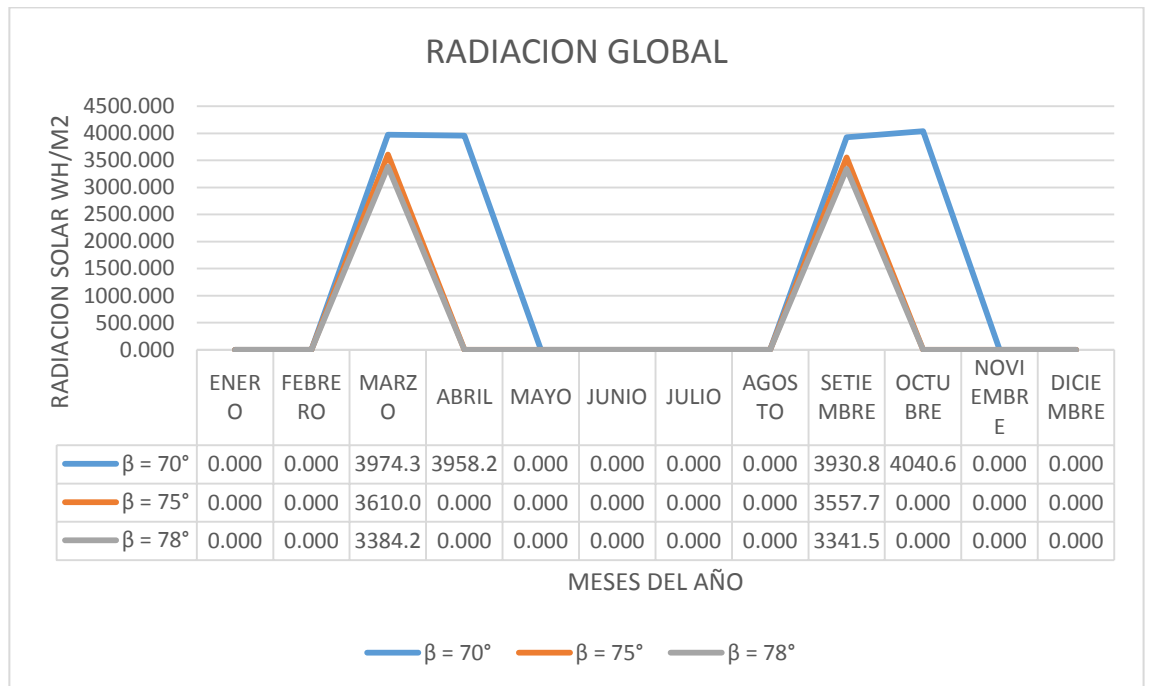


Figura 42: Radiación global para B = 70 hasta B = 78.

Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 7, se está trabajando con una radiación solar promedio anual, así se observa que se encuentra por encima de los 6400 wh/m2, siendo el rango de 0° a 15° los más óptimos para poder instalar el panel solar y cumpliendo con la tabla 9 de los ángulos de inclinación.

Se tiene un nivel de radiación alto, por ello es importante realizar los cálculos adecuados y la correcta selección del panel solar.

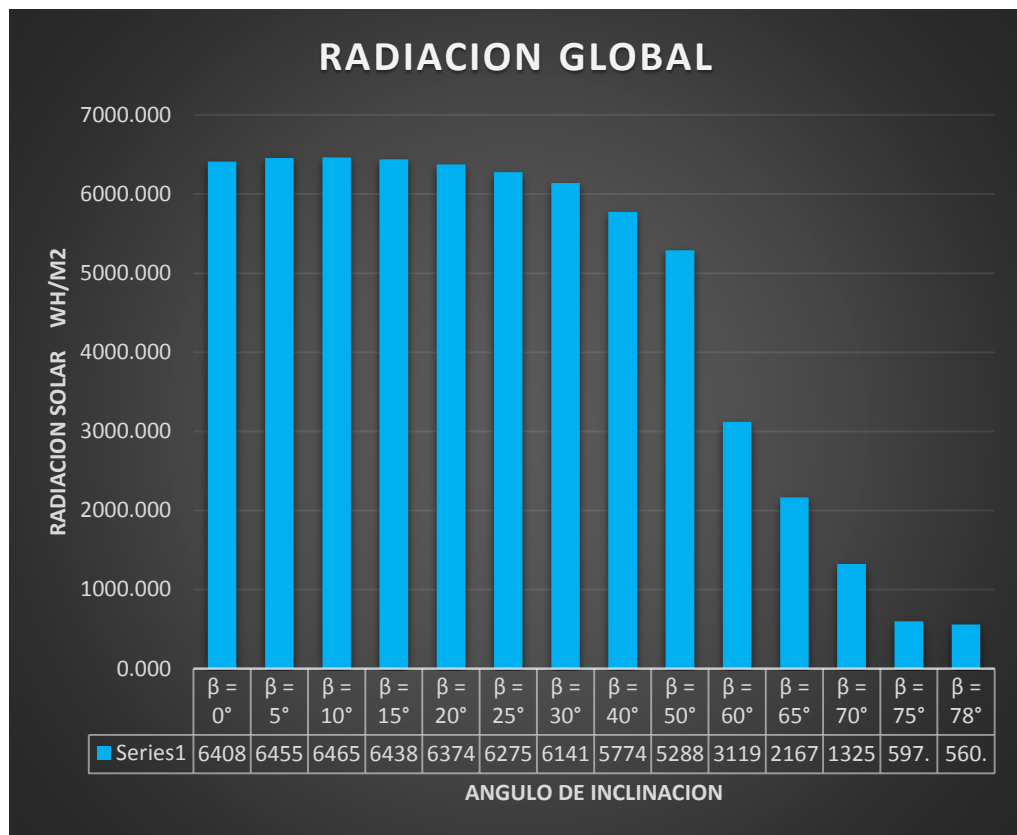


Figura 43: Radiación solar promedio anual.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Cálculo de las dimensiones de los paneles fotovoltaicos.

El consumo de energía del PLC es de 8 W, el consumo de los solenoides es de 2W, los solenoides solo funcionarán un instante, es decir que necesitarán solo un pulso para abrir y otro pulso para cerrar, este pulso durará menos de 500 milisegundos y los aspersores van a funcionar aproximadamente de 5 a 10 minutos, el relay consume 2W y la alarma 1w.

En base a estos datos se podrá determinar las características del panel solar, del controlador de voltaje y de las baterías que requiere el nuevo sistema.

##### 4.4.1. Cálculo de la potencia de consumo del sistema.

Primero se determina el consumo total de energía de los equipos que van a intervenir en el sistema.

CONSUMO DE ENERGIA EN CORRIENTE CONTINUA VDC					
EQUIPOS	POT.	CANTIDAD	POT. INST. (W)	HORAS	CONS. Wh/d
PLC	8	1	8	24	192
SELENOIDE	2	6	12	2	24
RELAY	2	2	4	2	8
ALARMA	1	1	1	1	1
<b>C. ENERGETICO TEORICO</b>			<b>25</b>		<b>225</b>

Tabla 22: Consumo de energía.

Fuente: Elaboración propia.

Consumo energético teórico del sistema de control de riego: 225 Wh/día.

Voltaje de alimentación del sistema de control de riego: 24vdc.

Intensidad máxima del sistema de control de riego: 9.375 Ah.

#### 4.4.2. Cálculo del rendimiento del sistema.

Para poder determinar el consumo energético real, se requiere tener el consumo energético teórico, que ya se tiene en la tabla anterior, y el parámetro de rendimiento global del sistema. Para poder determinar este parámetro se tiene que aplicar la siguiente formula:

$$R = \left[ (1 - b - c - v) \left( 1 - a * \frac{N}{Pd} \right) \right]$$

Fórmula 4: Rendimiento del sistema.

La presente fórmula tiene varias constantes que se debe elegir cuidadosamente con el objetivo de poder tener un factor de rendimiento adecuado al sistema.

RENDIMIENTO DEL SISTEMA		
B: COEF. DE LAS PERDIDAS POR RENDIMIENTO EN LAS BATERIAS. 0.05 SINO SE PRECISAN DESCARGAS FUERTES 0.1 CONDICIONES MUY DESFAVORABLES	%	0.05
C: COEF. DE PÉRDIDAS EN EL CONTROLADOR E INVERSOR. 0.1 CONTROLADOR CON CARGA EFICIENTE 0.4 CONTROLADOR POCO EFICIENTE	%	0.1
V: COEF. OTRAS PERDIDAS (CABLE Y EQUIPOS) 0.15 VALOR MAXIMO 0.05 VALOR MINIMO	%	0.05
A: COEF. DE DESCARGA (BATERIA) 0,02 para baterías de Ni-cd (Niquel-Cadmio) 0,005 para baterías estacionarias de Pb-Ac (Plomo-Ácido). 0,012 para baterías estacionarias de Pb-Ac (Plomo-Ácido).	%	0.005
N: DIAS AUTONOMOS DE 2 A 5 DIAS	%	2
PD: PROFUNDIDAD DE DESCARGA CON VALORES ENTRE 50% EN LAS BATERIAS DE VASO Y EL 80 EN EL RESTO	%	0.5
TOTAL	%	0.784
PORCENTAJE TOTAL	%	78.4

Tabla 23: Rendimiento del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

El valor del parámetro de rendimiento es de 78.4%.

Al consumo energético teórico se le tiene que sumar el factor de seguridad que es un 10% y el factor de energía extra que es un 20%.

CONSUMO ENERGETICO TEORICO		
FACTOR DE ENERGIA EXTRA	20%	270
FACTOR DE SEGURIDAD	10%	297

Tabla 24: Consumo energético teórico.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el consumo energético real se aplica la siguiente ecuación.

$$C.energetico\ real = \frac{C.energetico\ teorico}{Rendimiento\ del\ sistema} [Wh]$$

Fórmula 5: Consumo energético real.

$$C. \text{ energetico real} = \frac{297 (W)}{0.784} = 378.827 [Wh]$$

El consumo energético real es de 378.827 Wh.

#### 4.4.3. Cálculo de números de paneles en paralelo

CALCULO DEL NUMERO DE PANELES SOLARES		
FACTOR DE ENERGIA EXTRA	20%	270
FACTOR DE SEGURIDAD	10%	297
CONSUMO ENERGETICO REAL	Wh	378.827
HORAS SOLAR PICO HSP	KWh/M2/D	4.54
POTENCIA DEL PANEL SOLAR A UTILIZAR	Wh	225
NUM. DE PANELES EN PARALELO	#	0.371
CANTIDAD DE PANELES EN PARALELO	#	1

Tabla 25: Número de paneles.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la cantidad de paneles solares del sistema se utiliza la siguiente fórmula:

$$Np = \frac{E}{Wp \times HSP}$$

Fórmula 6: Número de paneles solares.

$$Np = \frac{E}{Wp \times HSP} = \frac{378,827}{225 \times 4.54} = 0.317 \sim 1.$$

Np: Número de paneles.

Wp: Potencia máxima o potencia pico con valor de 225W.

E: Energía real ya calculada con un valor de 378.827 Wh.

HPS: Hora Pico Solar (elegimos el valor más bajo).

Como resultado de esta ecuación solo se utilizará un panel solar de 200W.

Por otro lado, en la web de la nasa se tiene la irradiación solar media de todos los países, se descargó la irradiación solar media de la región la cual se muestra en la figura 44

El gráfico muestra la mayor irradiación solar media de cada mes del año:

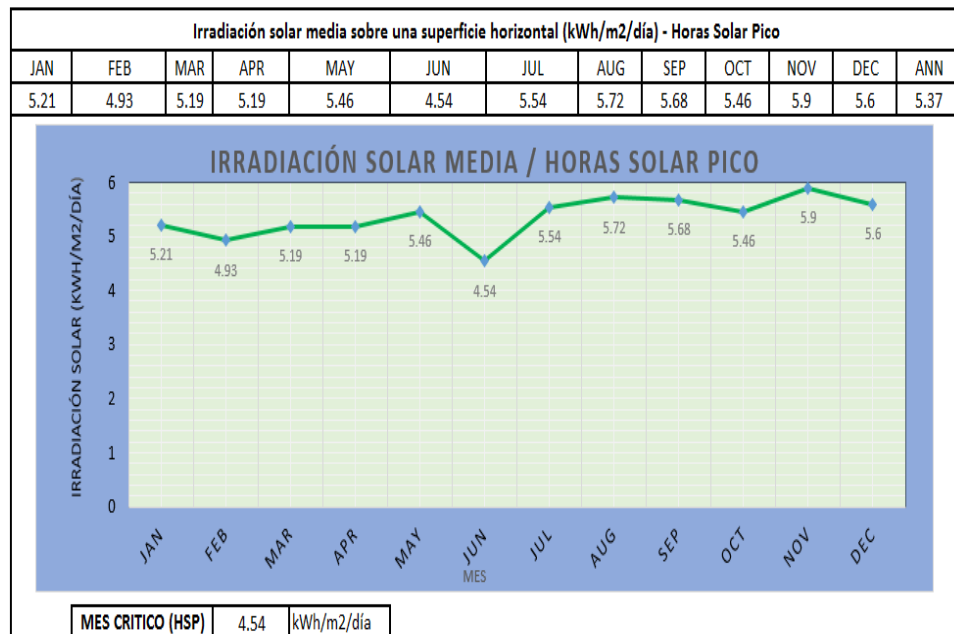


Figura 44: Irradiación solar.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

#### 4.4.4. Cálculo del número de baterías.

Se debe de contar con un sistema de acumulación de energía, para cuando el sistema funcione de noche o cuando exista presencia de nubes durante el día.

Este sistema de acumulación de energía debe suministrar energía al sistema de control de riego por 2 días.

CALCULO DE BATERIAS		
POTENCIA TOTAL CON FACTOR DE SEGURIDAD	Wh/dia	378.827
VOLTAJE DEL SISTEMA	VDC	24
INTENSIDAD DE LA CARGA	Ah/dia	15.784
EFICIENCIA	%	98
PROFUNDIDAD DE DESCARGA	%	85
DIAS DE AUTONOMIA	DIAS	2
<b>CAPACIDAD MINIMA DE LA BATERIA</b>	<b>Ah</b>	<b>37.898</b>

Tabla 26: Cálculo de baterías.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Capacidad Min. (Ah)} = \frac{\text{demanda total real } \left(\frac{wh}{\text{dia}}\right) \times \text{dias de autonomia}}{\text{Profundidad de descarga (\%)} \times EF \times Vdc}$$

Fórmula 7: Capacidad mínima de la batería.

$$\text{Capacidad Min. (Ah)} = \frac{378.827 \left(\frac{wh}{\text{dia}}\right) \times 2}{0.85 (\%) \times 0.98 \times 24} = 37.89Ah$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se podrá calcular la cantidad de acumuladores de energía que necesitará el sistema de control de riego para un correcto funcionamiento.

#### 4.4.5. Cálculo del controlador de carga.

Se realiza el dimensionamiento del controlador de energía, este equipo es quien administra el flujo de energía que proviene de los paneles, la energía que va al sistema de control de riego, la carga y descarga de la batería.

CALCULO DEL NUMERO DE BATERIAS EN PARALELO		
CAPACIDAD NOMINAL DE LA BATERIA	Ah	100
CAPACIDAD MINIMA	Ah	38.232
BATERIAS EN PARALELO	#	0.38232
<b>CANTIDAD DE BATERIAS EN PARALELO</b>	<b>#</b>	<b>1</b>



Tabla 27: Calculo de número de baterías en paralelo.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Capacidad Min. (Ah)} = \frac{\text{capacidad minima (Ah)}}{\text{capacidad minima de la bateria}}$$

Fórmula 8: Capacidad mínima Ah.

Para el sistema solo será necesario una batería o acumulador de energía.

CALCULO DEL CONTROLADOR DE CARGA		
POTENCIA DEL PANEL SOLAR A UTILIZAR	Wh	200
NUMERO DE PANELES EN PARALELO	#	1
VOLTAJE MAXIMO DEL PANEL SOLAR	Vm	31.8
INTENSIDAD DE POTENCIA MAXIMA DEL PANEL	Imp	5.44
VOLTAJE DEL SISTEMA	VDC	24
AMPERAJE DEL CONTROLADOR	Amp	<b>8.333</b>

Tabla 28: Cálculo de controlador.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Capacidad Min. (Ah)} = \frac{\text{Pot panel solar (wh)} \times \# \text{ de paneles paralelo}}{\text{voltaje del sistema (Vdc)}}$$

Fórmula 9: Capacidad mínima Ah paralelo.

$$\text{Capacidad Min. (Ah)} = \frac{200 \text{ (wh)} \times 1.0}{24 \text{ (Vdc)}} = 8.33 \text{ Amp}$$

#### 4.5. Descripción del sistema.

Toda la parte de control del sistema de aspersión será alimentada por los paneles solares durante el día y durante la noche la batería será quien brinde energía al sistema.

El PLC en cuestión tendrá la función de procesar las 3 señales analógicas, la presión de la línea de agua, la temperatura y la humedad del medio ambiente, así mismo tendrá la función de activar y desactivar los solenoides.

#### **4.5.1. Arquitectura del sistema de control.**

Cada unidad contará con un sistema de control que será un PLC de la serie micro800 de la familia de Allen Bradley, este será instalado en el interior del módulo, este sistema contará con una sirena que servirá para indicar si existe alguna falla, además contará con luces piloto que indicará si está funcionando. También contará con un selector para hacer pruebas en modo manual y poder realizar el mantenimiento cuando lo requiera, el sistema contará con un relay que se utilizará para activar y desactivar los solenoides.

#### **4.5.2. Filosofía de control.**

Los paneles alimentarán de forma ininterrumpida al PLC y a los sensores, los cuales enviarán una señal analógica al PLC.

- **Modos de funcionamiento/operación.**
- **Modos de operación: off/manual/automático.**

Para poder acceder a uno de estos modos se contará con un selector.

En modo off, este modo permitirá realizar el cambio de los solenoides y/o otros equipos que presenten falla o simplemente permitirán la verificación de los mismos componentes.

En modo manual, en este modo se permitirá realizar pruebas de mantenimiento y de verificación del funcionamiento de los aspersores, en este modo las señales de los sensores y el programa de riego del PLC pasarán modo bypass.

Así mismo en modo automático, una vez que se pase de modo manual a modo automático lo primero que hará el sistema de control de riego, es evaluar las condiciones climáticas del área o de la vía para verificar si es necesario iniciar el riego,

de lo contrario comenzará a funcionar el programa donde se realizará el riego de la vía cada 4 horas por 10 minutos, los sensores siempre estarán evaluando las condiciones de la vía para evaluar si es necesario o no activar el sistema de aspersion en la vía, de esta forma funcionará durante el día es decir desde las 05:00 am hasta las 19:00pm, para la noche el programa de activación del sistema de aspersion será cada 6 horas por 10 minutos de igual manera los sensores siempre estarán evaluando las condiciones de la vía.

Sensor de temperatura y humedad, con estos sensores se podrá determinar si el día es muy caluroso y si el día presenta mucha humedad y en base a estos datos recopilados se podrá determinar si se necesita activar los aspersores. El sensor de presión, este sensor va a brindar la información de la presión en el sistema de hidráulico para poder dar inicio al riego en la vía, la presión mínima que debe existir a la entrada de cada módulo es de 8psi.

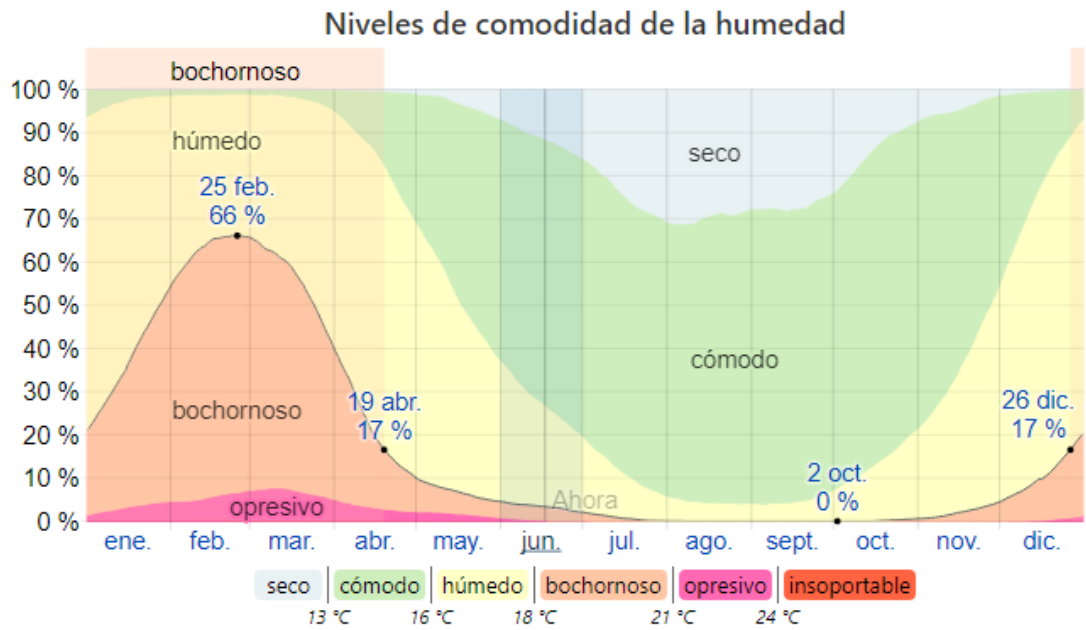


Figura 45: Humedad relativa

Fuente <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/peru/ancash/huaraz-29419/>

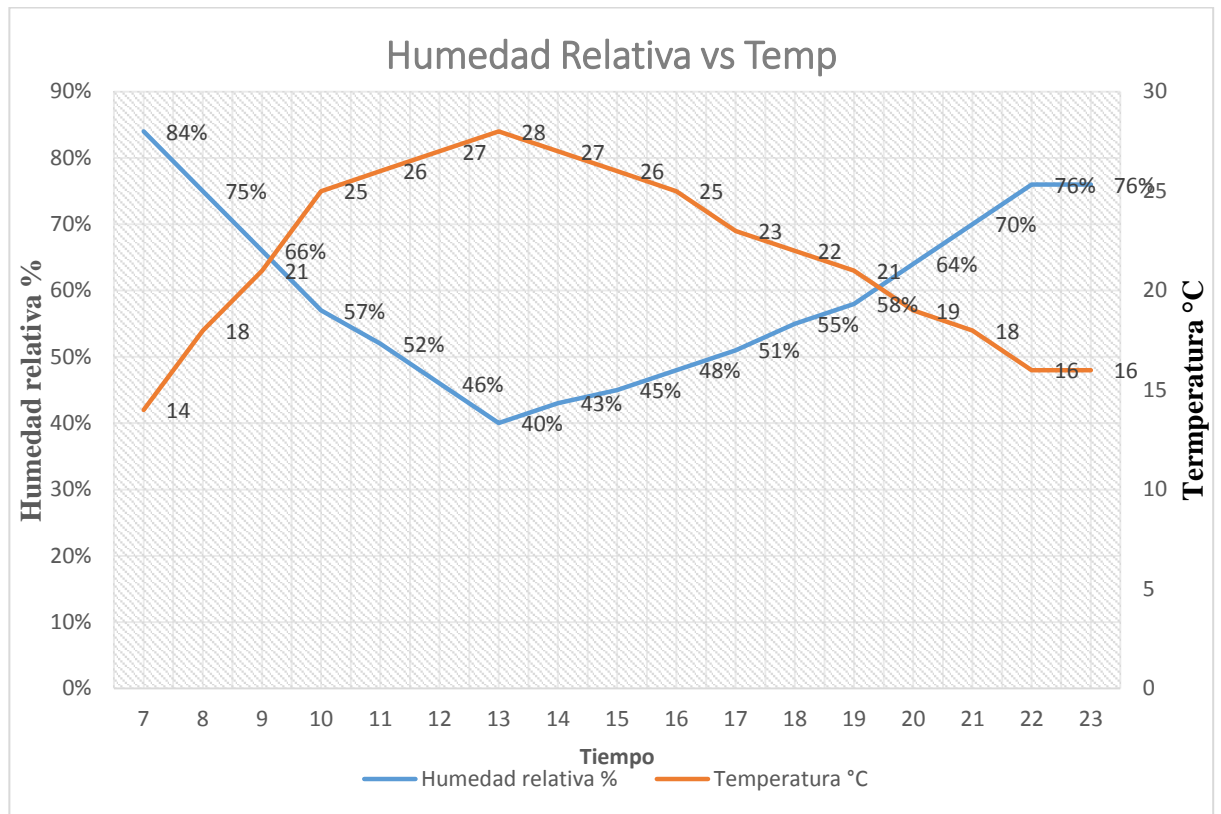


Figura 46: Humedad vs Temperatura

Fuente: Elaboracion propia

Solenoides, serán activadas mediante un pulso de voltaje el cual será generado por el PLC y de la misma forma para poder desactivarlos, estos solenoides cuentan con un sistema manual y automático, que también permitirá realizar pruebas puntuales.

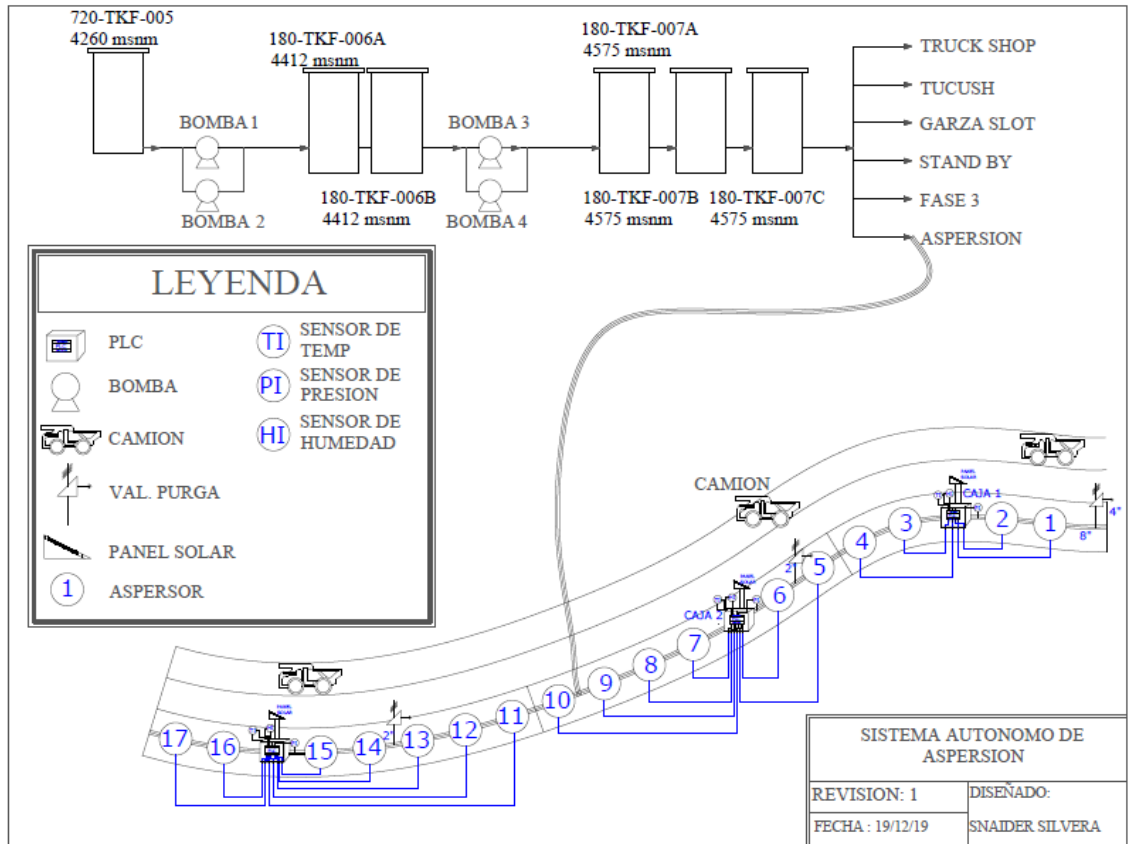


Figura 47: Diagrama P&ID.

Fuente: Elaboración propia.

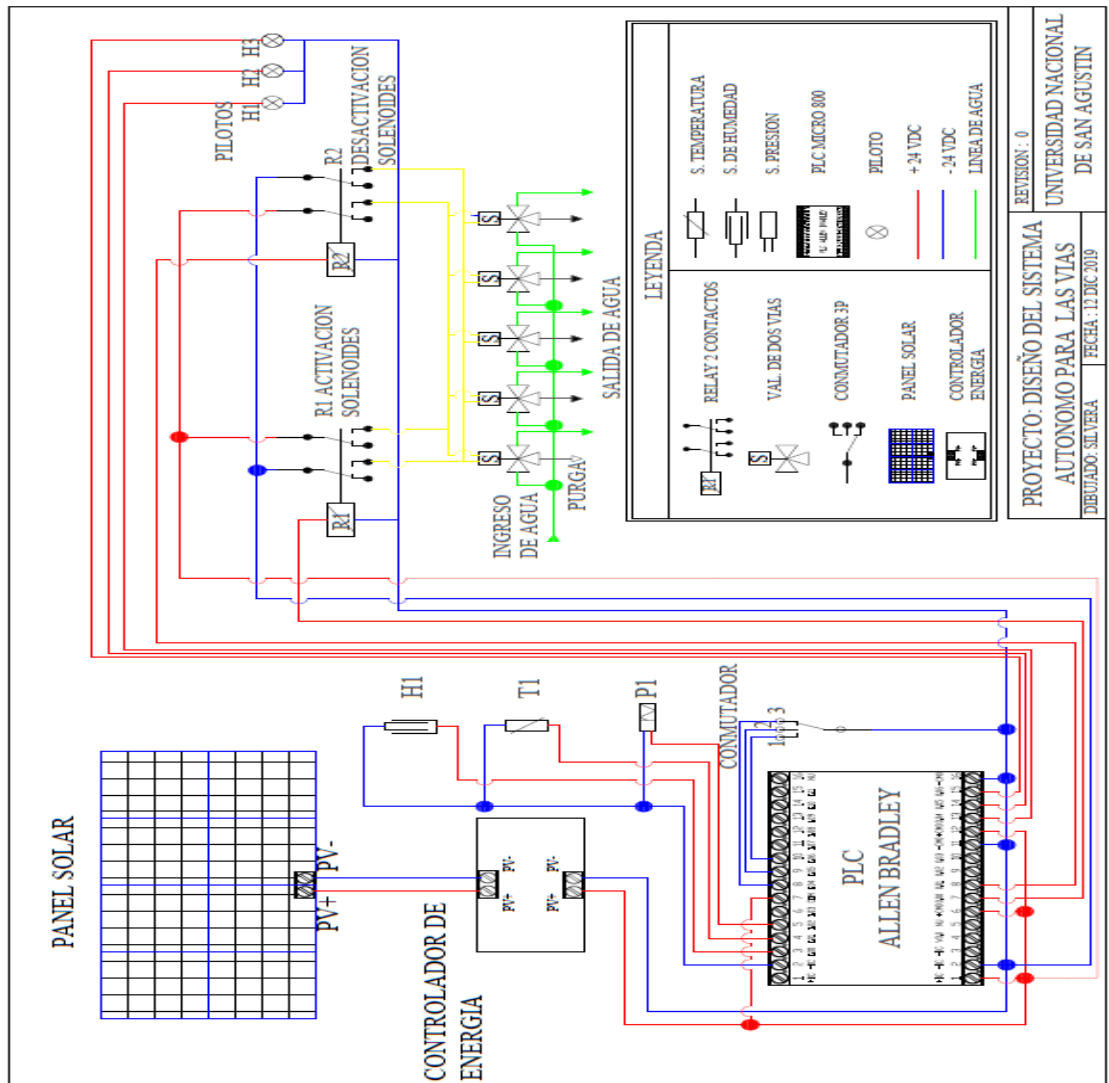


Figura 48: Diagrama eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.3. Características de los sensores seleccionados.

##### Sensor de temperatura

El transductor de temperatura que se utilizara tendra las siguientes características:

marca Danfoss.

modelo MBT 5250.

PT100 de 2 hilos.

rango de operación  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ .

aplicación, para líquido, aire y agua.

Grado de protección IP65.

Material de conexión al proceso acero inoxidable.

El sensor de temperatura será instalado en el exterior del módulo/caja, para que sienta la temperatura del medio ambiente, la señal analógica de salida es de 4 a 20 mA. La cual ingresará al PLC.



Figura 49: Sensor de temperatura

Fuente. <https://www.danfoss.com/en/products/sensors-and-transmitters/dcs/industrial-temperature-sensors/mbt-5250-5252/#tab-overview>

### **Sensor de humedad**

El transductor de temperatura que se utilizara tendra las siguientes características:

Marca Sensovant



Modelo Sensor EE33-M

Rango medición: 0...100% RH; -40...180°C

Tiempo de respuesta: < 15s

Salidas: 0...1 / 5 / 10 V or 0 / 4...20 mA

Precisión:  $\pm 1.3\%$  RH;  $\pm 0.2^\circ\text{C}$

Suministro: 5 - 24 V AC / DC

Sensor recubierto: Protección frente agentes contaminantes y la corrosión.

El sensor de humedad es utilizado en las centrales meteorológicas, sera instalado en la parte inferior de la modulo/caja, la señal de salida es de 4 a 20 mA.



Figura 50: Sensor de humedad

Fuente. <http://sensovant.com/productos/humedad/meteorologia/articulo/sensor-meteorologico-ee33-M.html>

### **Sensor de presion**

Marca Danfoss

Modelo DST P40I

Señal de salida: 4-20 mA

Suministro: 9 - 32 V DC

Rango de presión 1.45 – 145PSI

Precisión  $\pm 1.5\%$  FS (típico)

Excelente rendimiento de golpes y vibraciones

El sensor e temperatura sera instalado en el exterior del modulo/caja, para que sense la temperatura del medio ambiente, la señal analógica de salida es de 4 a 20 mA.



Figura 51: Sensor de presión

Fuente. <https://www.danfoss.com/en/products/sensors-and-transmitters/dcs/industrial-pressure-transmitters/dst-p40i-pressure-transmitter/#tab-overview>

El sensor de presión será instalado en la línea de agua, para tener la presión de la línea de agua, la señal analógica de salida es de 4 a 20 mA.

La instalación de los sensores de temperatura y humedad se realizará en el mismo módulo en la parte exterior, para el sensor de presión será instalado en la línea de agua la cual pasa por debajo del módulo, cada módulo contará con 3 sensores.

#### **Indicadores visuales.**

Los pilotos indicarán si el PLC se encuentra funcionando correctamente, si existe baja presión en el sistema hidráulico y si algún sensor presenta alguna falla.

De ocurrir alguna falla en el sistema de control de aspersión el programa se detendrá. Para cada falla se activará un piloto en el interior de caja metálica y la baliza visual se activará en el exterior de la caja para poder ser visualizada por el operador o mantenedor, de tener una falla en el PLC solo se activará la baliza visual.

#### **4.5.4. Costo de implementación del nuevo diseño**

El siguiente análisis se enfocará en comparar los costos de los equipos instalados y de los equipos para el nuevo sistema que se está proponiendo.

En la siguiente tabla número 16, se puede observar el costo de los equipos para el proyecto que se está proponiendo en el presente trabajo, los equipos que se han cotizado son de una gama media alta, pero las características más importantes en los equipos cotizados es que puedan resistir las condiciones de la mina.

PRESUPUESTO DEL NUEVO DISEÑO				
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO S/.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
1	Modulo Solar 200wp Policristalino RenePV	400.00	1	400.00
2	Bateria RITAR 12V 55Ah RA AGM	506.42	2	1012.84
3	bateria gel 12v 65 ah ever exceed	901.67	2	1803.34
4	controlador smart solar Mppt 100v 50a victron	1777.00	1	1777.00
5	PLC allen bradley serie MICRO 800	297.00	1	297.00
6	cable de comunicaci3n	66.00	1	66.00
7	relay	20.00	2	40.00
			<b>TOTAL</b>	<b>5396.18</b>

Tabla 29: Presupuesto del diseo nuevo.

Fuente: Elaboraci3n propia.

En la tabla 17, se puede observar el costo de los equipos utilizados en el sistema instalado, este cuadro representa el costo de una central y el panel solar que son necesarios para el funcionamiento del sistema.

COSTO DEL DISEÑO ACTUAL DE LA CENTRAL					
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO USD	COSTO UNITARIO S/.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
1	DREAM 2	2126.60	7017.78	1	7017.78
2	MODEN/ADAPTADOR HE910	337.40	1113.42	2	2226.84
3	TARJETA RF MASTER G4	688.00	2270.40	1	2270.40
4	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
5	TARJETA RF MASTER G3	585.00	1930.50	1	1930.50
6	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
7	TARJETA RF SLAVE RF G3	242.00	798.60	1	798.60
8	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
9	TARJETA RF SLAVE RF G4	320.00	1056.00	1	1056.00
10	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
11	TARJETA I/O PLUG IN RTU	132.80	438.24	4	1752.96
12	PANEL SOLAR 15W 12V POLI	359.22	359.22	2	718.44
13	BATERIA AGM 12 70 RITAR	417.00	417.00	1	417.00
14	CONTROLADOR DE CARGA 10A PWM	116.48	116.48	1	116.48
15	JUEGO DE CONECTORES MC4	23.92	23.92	4	95.68
16	COSTOS DE ENVIO	294.95	973.34	1	973.34
			<b>TOTAL</b>		<b>22077.38</b>

Tabla 30: Costo del diseo actual de la central.

Fuente: Elaboraci3n propia.

En la tabla 18, se puede observar el costo de un solo m3dulo, el sistema actual cuenta con 14 m3dulos, entonces el costo total de los 14 m3dulos seria S/. 304054.17 soles en comparaci3n con el costo de los 14 m3dulos nuevos que se est3 proponiendo seria de S/. 75546.52 soles, la diferencia entre estas dos inversiones es de S/. 228507.65 soles, con este resultado se observar que el proyecto propuesto es viable econ3micamente.

COSTO DEL DISEÑO ACTUAL DEL MODULO					
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO USD	COSTO UNITARIO S/.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
1	DREAM 2	2126.60	7017.78	1	7017.78
2	MODEN/ADAPTADOR HE910	337.40	1113.42	2	2226.84
3	TARJETA RF MASTER G4	688.00	2270.40	1	2270.40
4	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
5	TARJETA RF MASTER G3	585.00	1930.50	1	1930.50
6	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
7	TARJETA RF SLAVE RF G3	242.00	798.60	1	798.60
8	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
9	TARJETA RF SLAVE RF G4	320.00	1056.00	1	1056.00
10	TARJETA RF RTU BASE	204.80	675.84	1	675.84
11	TARJETA I/O PLUG IN RTU	132.80	438.24	4	1752.96
12	PANEL SOLAR 15W 12V POLI	359.22	359.22	1	359.22
13	BATERIA AGM 12 70 RITAR	417.00	417.00	1	417.00
14	CONTROLADOR DE CARGA 10A PWM	116.48	116.48	1	116.48
15	JUEGO DE CONECTORES MC4	23.92	23.92	4	95.68
16	COSTOS DE ENVIO	294.95	973.34	1	973.34
			TOTAL		21718.16

Tabla 31: Costo del diseño actual, 1 módulo de riego.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 19, el costo del nuevo diseño es el 12.32% de costo total del diseño existente, esta comparación se está realizando solo con el costo de la central y de un módulo existentes contra el costo de la propuesta del sistema de riego, solo en equipos se tiene existe una gran diferencia.

COMPARACION			
DISEÑO	NUEVO	EXISTENTE	DIFERENCIA
<b>COSTO S/.</b>	5396.18	43795.53	38399.35
<b>PORCENTAJE %</b>	12.32	100	87.68

Tabla 32: Comparación de costo actual versus el nuevo presupuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en ambas comparaciones la propuesta es viable económicamente.

#### **4.6. Simulación del programa.**

Para poder realizar la simulación del ladder se utilizó Rslinx, rslogix500, cable de comunicación y el Micrologix 1100 que pertenecen a la plataforma de Rockwell Automation.

Para poder realizar la comunicación entre el Micrologix 1100 y la PC es necesario tener el Rslinx lite, en este software se tiene que programar el driver que se va a utilizar para poder realizar la comunicación en el PLC y la PC, con este software se puede identificar todos los equipos que estén conectados en la red.

Rslogix500 es el editor de programa, en este software se va a desarrollar el programa para el presente proyecto, delimitaremos el tipo de entradas y de salidas en el PLC, si son digitales o analógicas, para las señales analógicas se usará la función SCP, que permite realizar el escalamiento de la señal analógica y se utilizará la función RTC que permite trabajar con la fecha y el tiempo del CPU del PLC.

Este PLC permite forzar las señales analógicas, que es de mucha ayuda para la simulación de las condiciones de inicio y de funcionamiento del sistema de riego.

El ladder está formado por seis partes:

Primero: se debe tener la fecha y la hora en un registro para poder ser utilizado en el programa.

Segundo: el escalamiento de las señales analógicas del sensor de temperatura, del sensor de humedad y del sensor de presión, que llega a las entradas del PLC.

Tercero: condiciones iniciales, el sensor de presión tiene que estar por encima de los 8 PSI para que el sistema pueda funcionar.

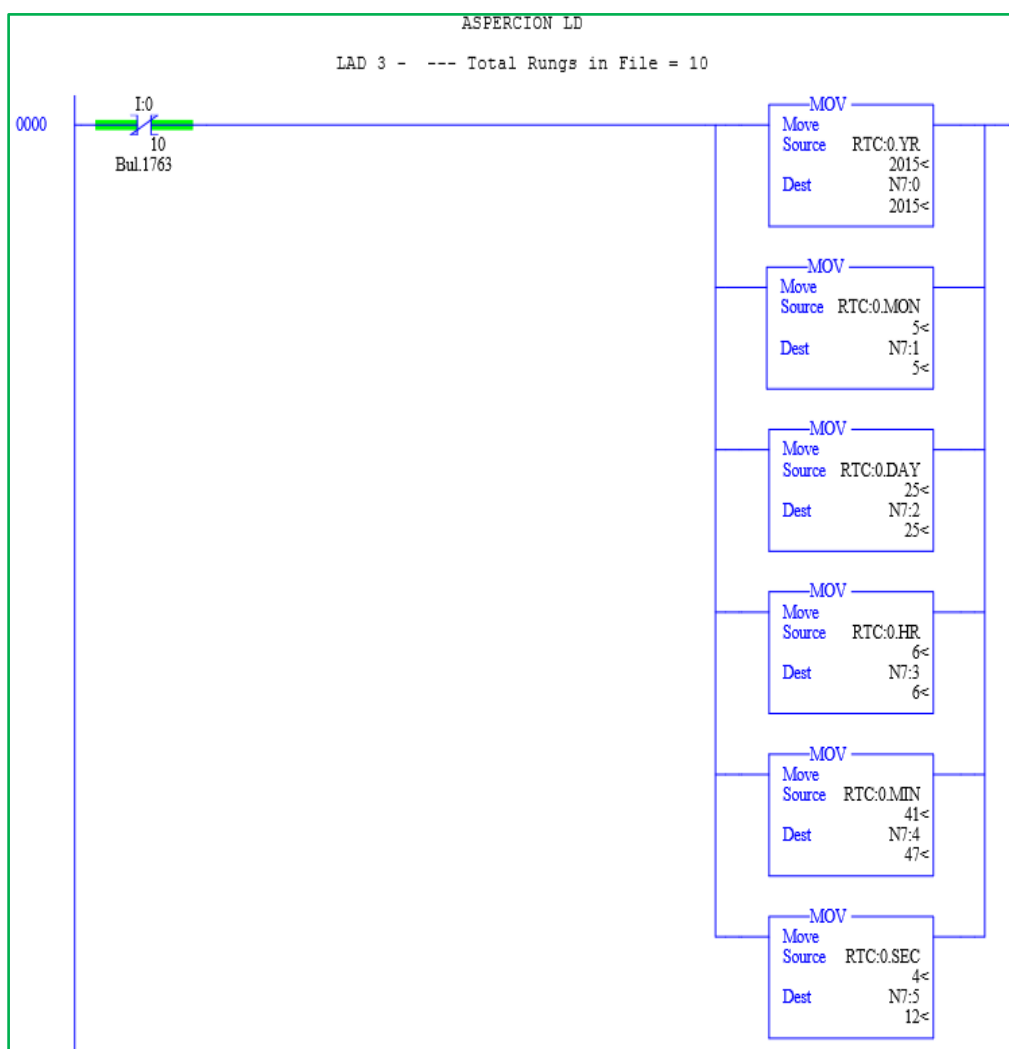
Cuarto: el programa principal donde se desarrolla la lógica de control del sistema, este sistema tiene modo automático y modo manual, en esta parte es donde se programa el tiempo que van a ser activados los solenoides.

Quinto: fallas en los sensores, aquí se programó si algún sensor presenta una falla en la lectura de su variable física.

Sexto: se define las direcciones de las salidas del PLC, para poder activar los solenoides y saber en qué modo está trabajando el PLC.

#### 4.7. Ladder del PLC.

En el ladder 1, se está moviendo la información del reloj interno del PLC con la función RTC propio de esta serie, la información que se está moviendo es la fecha y la hora, esta información se está moviendo a los registros N7:0 hasta el N7:5, con ayuda de estos registros se activarán los solenoides según lo programado en modo manual.



Ladder 1: Reloj del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

En el ladder 2, se esta realizando el escalamiento de la señal analógica con la ayuda de la funcion SCP, se esta definiendo la señal analógica de entrada mínima y máxima, y se está configurando el escalamiento mínimo y máximo, el valor de salida se esta guardando en los registros F8:0, F8:1 y F8:2.

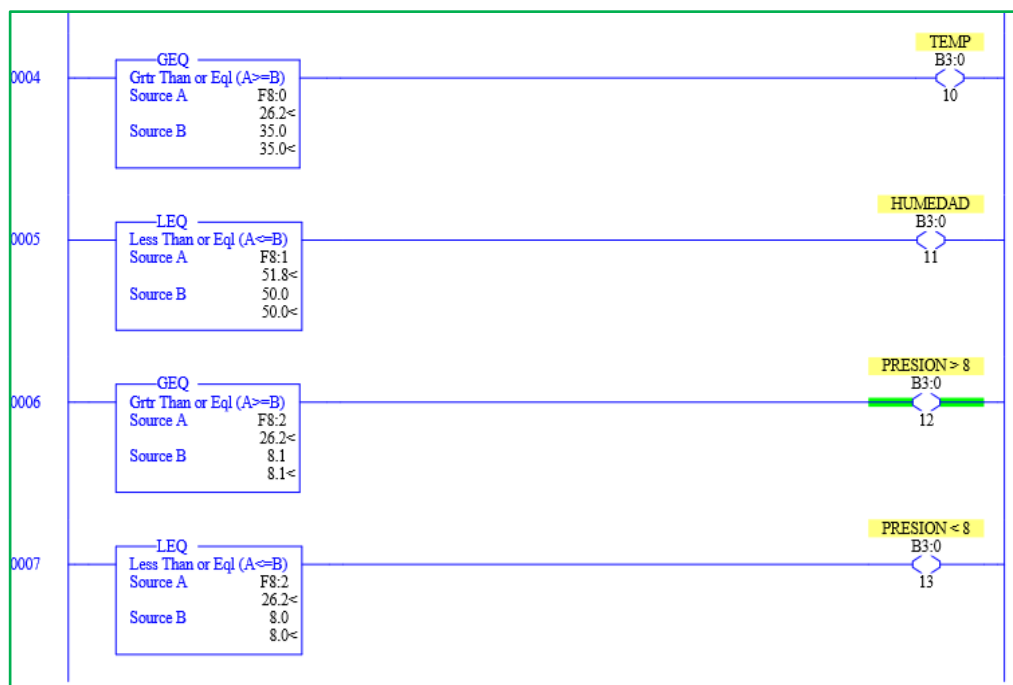


Ladder 2: Señal analógica.

Fuente: Elaboración propia.



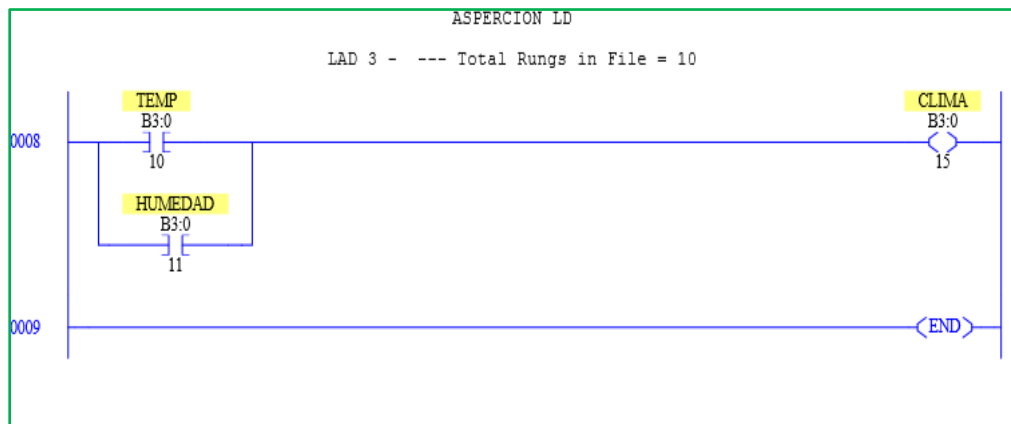
En el ladder 3, se están configurando las condiciones iniciales de funcionamiento del sistema, que son la temperatura, humedad del medio ambiente y la presión mínima y máxima del sistema hidráulico,



Ladder 3: Condiciones iniciales.

Fuente: Elaboración propia.

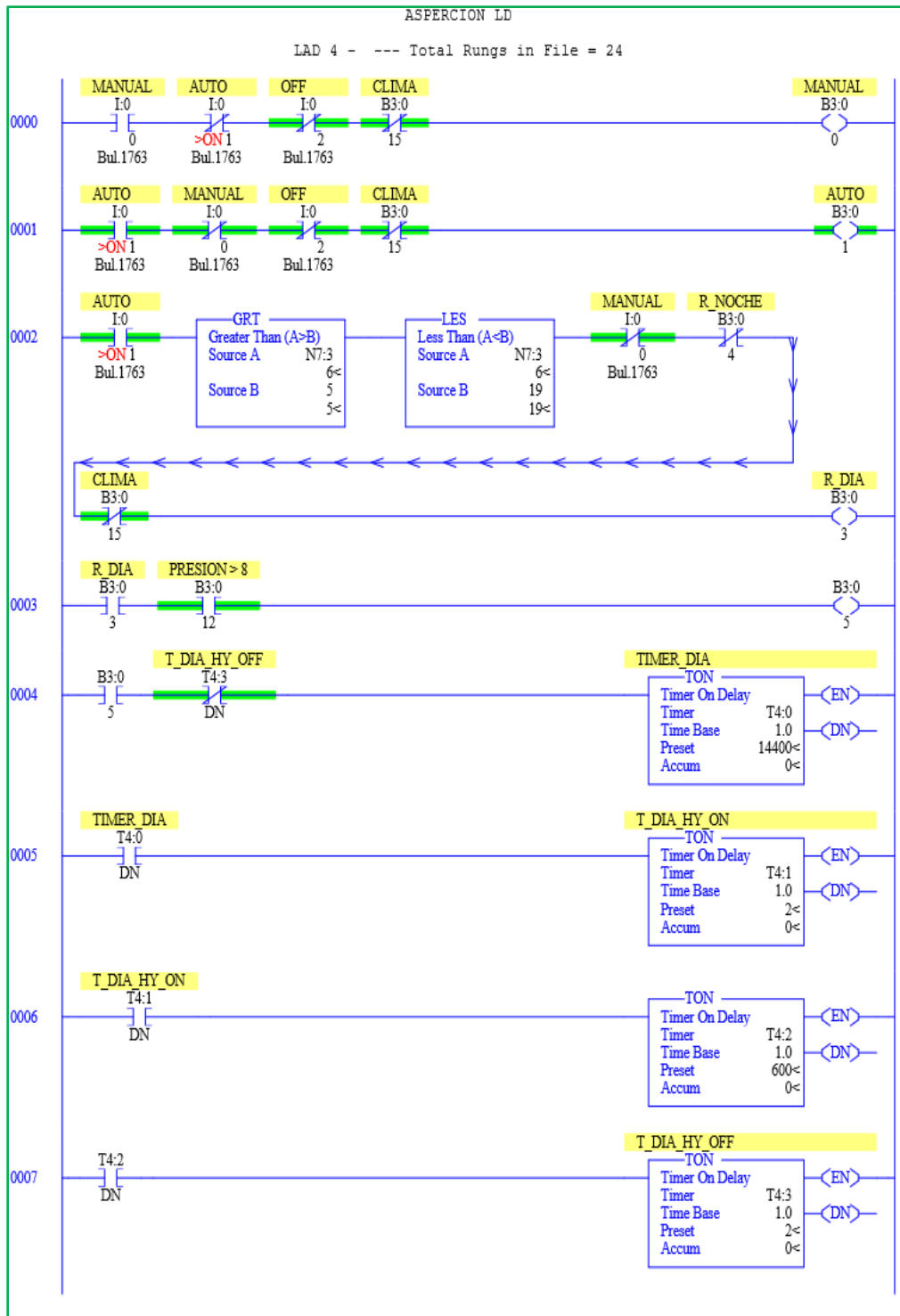
En el ladder 4, se encuentran las variables de temperatura y humedad, si una de estas variables no se encuentra dentro del rango programado, se activarán los solenoides.

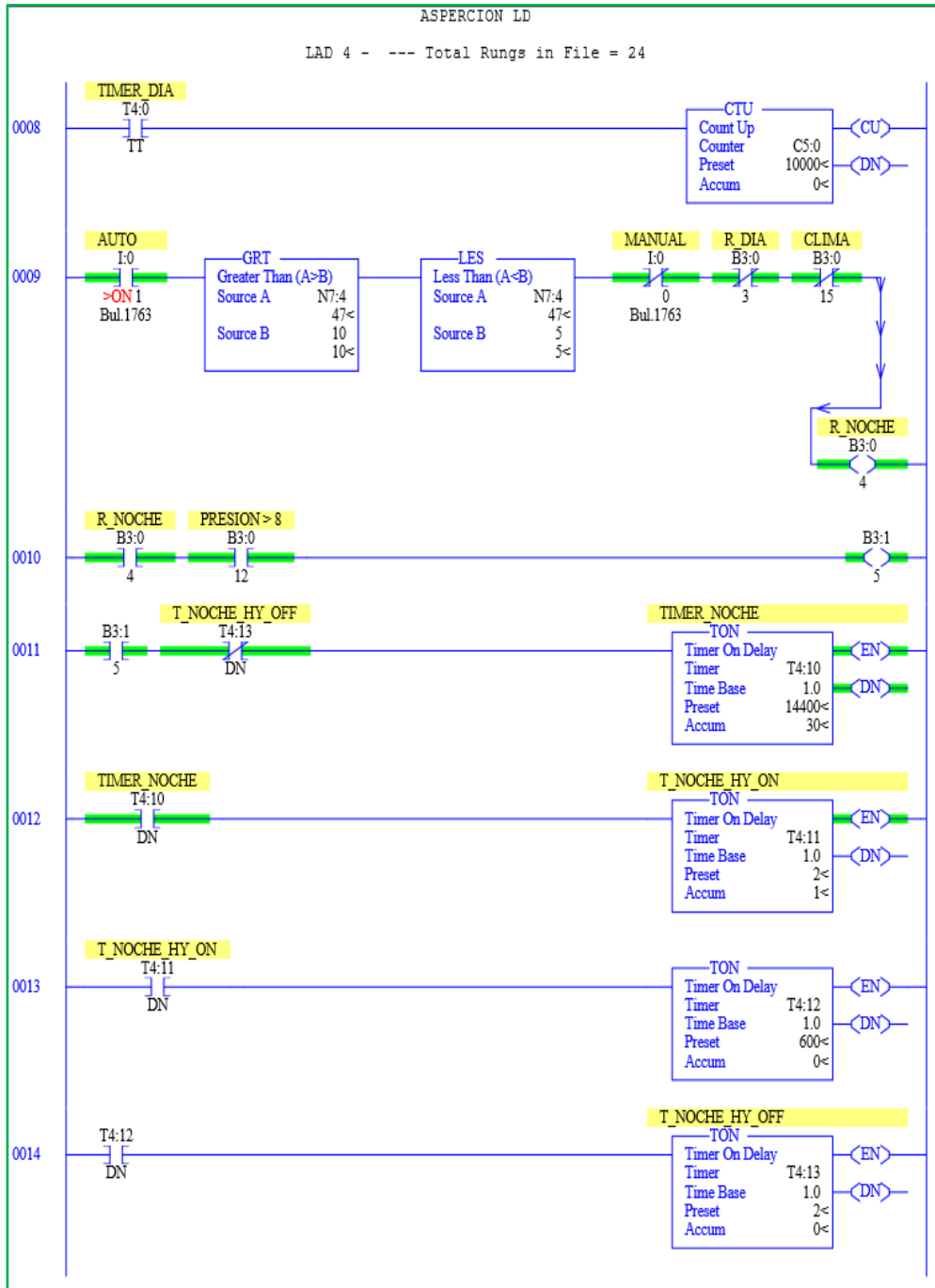


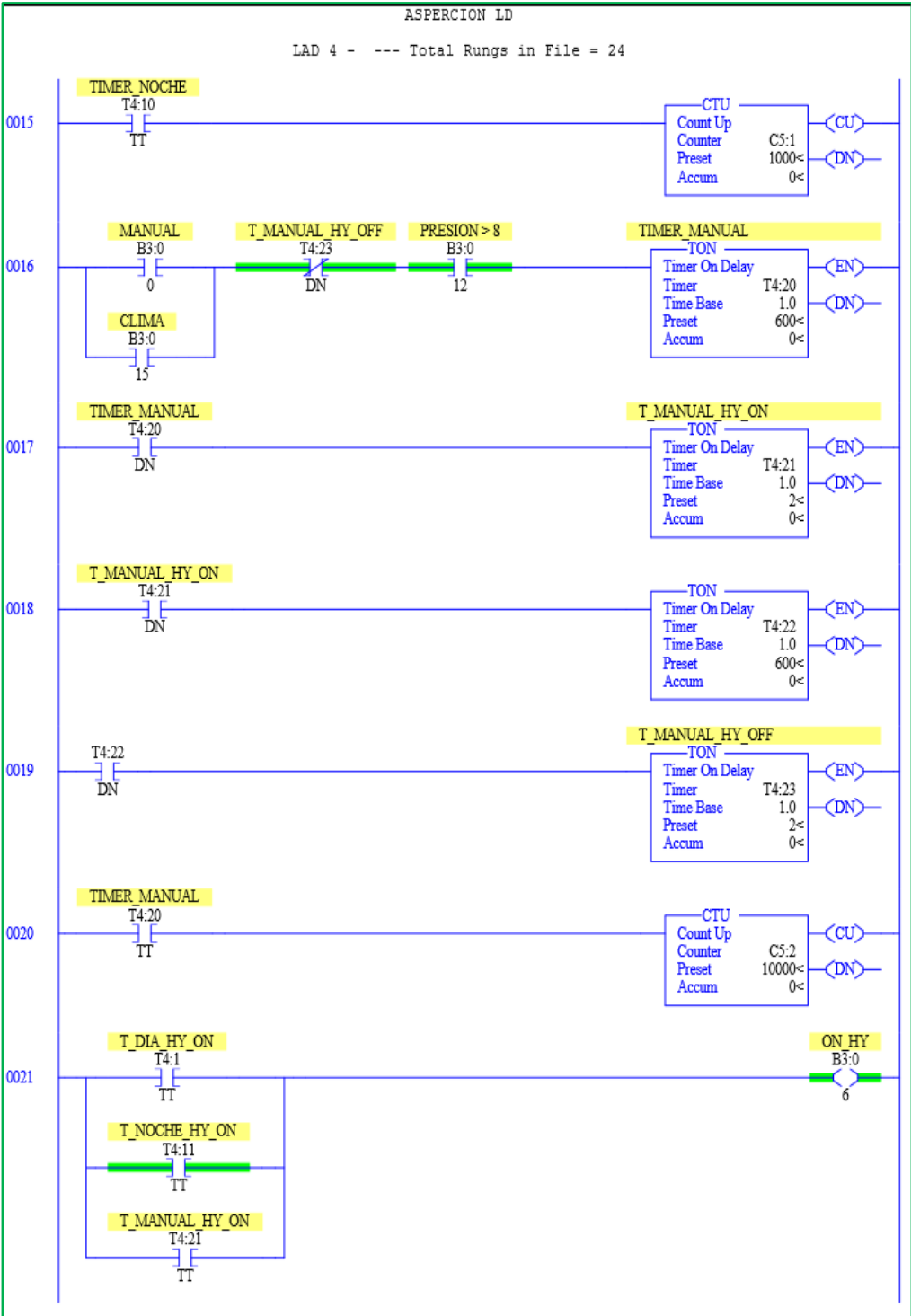
Ladder 4: Modo automático.

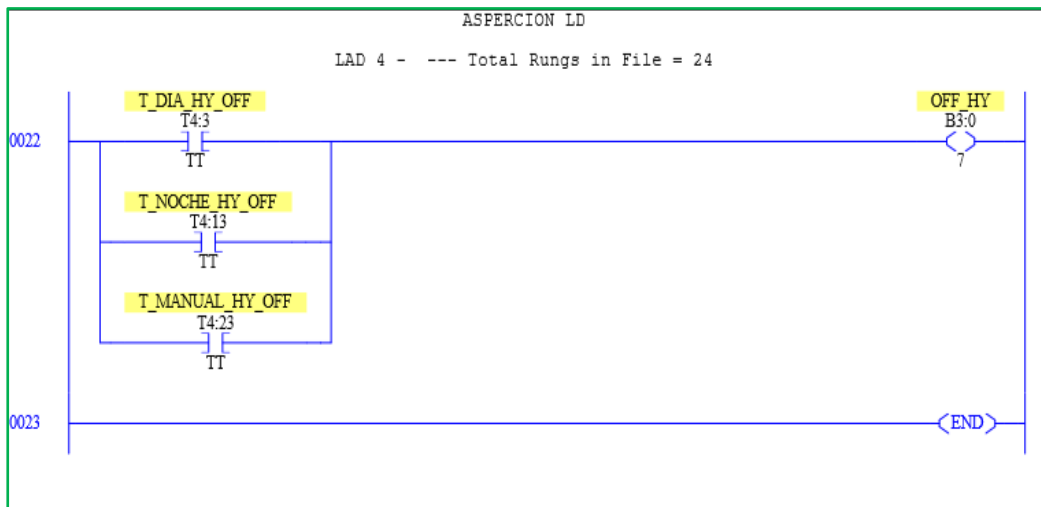
Fuente: Elaboración propia.

En los siguientes ladder se desarrolló la lógica de control, que está formada de modo manual y modo automático, se programó el funcionamiento del equipo durante el día y durante la noche, debido a que funcionan de diferente manera, para esto se programó 4 temporizadores y comparadores que activarán y desactivarán los solenoides según lo programado y según las condiciones de la mina.





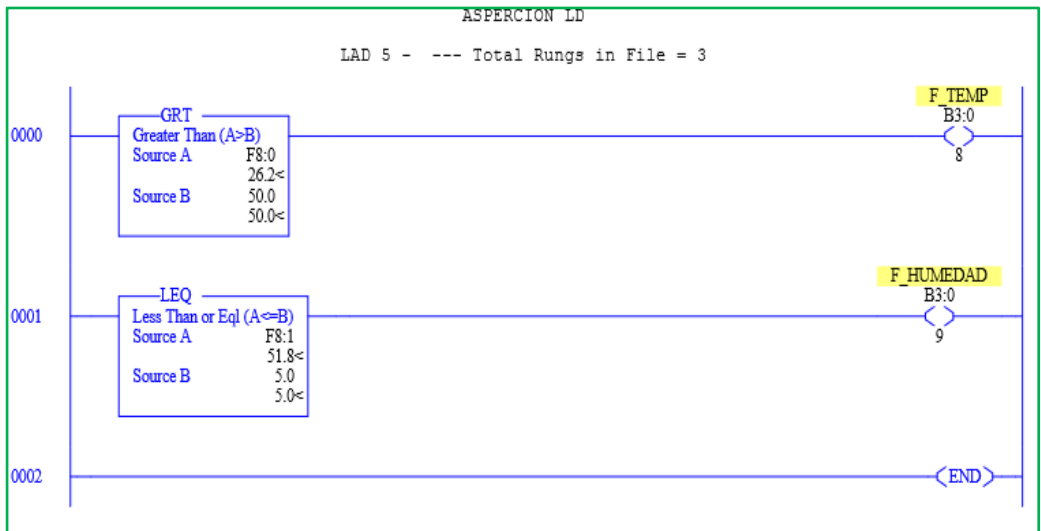




Ladder 5: Programación modo automático y manual.

Fuente: Elaboración propia.

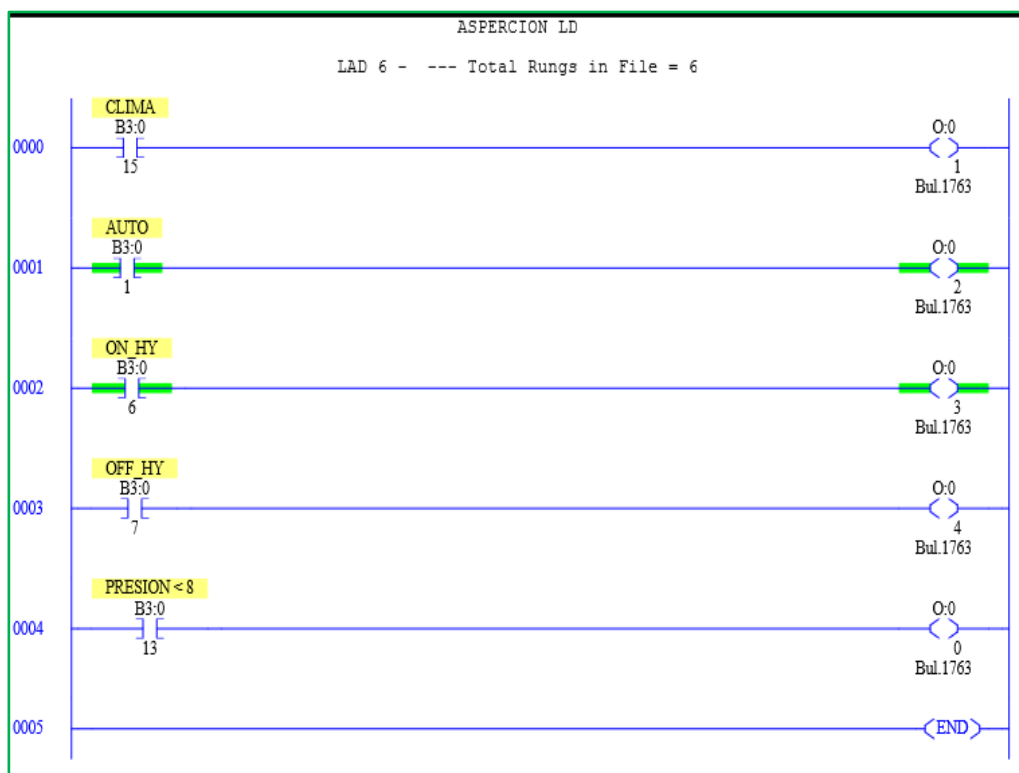
En el ladder 6, se podrá observar si algún sensor presenta una falla en su lectura.



Ladder 6: Falla de sensores.

Fuente: Elaboración propia.

En el ladder 7, se observan las direcciones de las salidas en el PLC, los cuales nos van a indicar si el sistema se encuentra en modo manual o modo automático, si los solenoides están activadas o desactivadas, y si la presión de salida está dentro del parámetro de trabajo.



Ladder 7: Salidas del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

Primera conclusión:

En base a un PLC que cuente con 4 entradas de señales analógicas, 4 señales digitales de salida y 4 entradas digitales, y además que su consumo de energía se mínimo, como el PLC: Allen Bradley serie 800; que unido a la elección de los 3 sensores cuyo consumo de energía sea mínimo también y estén diseñados para las condiciones climáticas adversas, es que se logró diseñar un sistema de aspersion autónomo que funcione de forma continua.

Segunda conclusión:

Conociendo el consumo de la potencia del sistema de riego, el factor de seguridad y el factor de energía extra, nos da un consumo final de 297Wh/día, es que se pudo realizar los cálculos para determinar el número de paneles que serán necesarios para el sistema, es muy importante considerar el factor de seguridad, porque así no estamos exigiendo al máximo el sistema y de esta manera el tiempo de vida va ser mayor, el factor de energía extra se proyecta cuando se va a implementar más equipos como podría ser una pantalla HMI.

Tercera conclusión:

Conociendo el consumo de la potencia del sistema de riego y el número de paneles que se va utilizar en el proyecto, se realizó el cálculo para determinar la cantidad de baterías que se requiere para el sistema de riego, la batería de gel es la ideal para este caso por su elevado nivel de descarga, además son baterías que no requieren



mantenimiento, estas posee un buen rendimiento en sus ciclos de carga y descarga, y tienen una garantía de 10 años, con todas estas características se garantiza el funcionamiento del sistema de riego durante toda la noche.

Cuarta conclusión:

Se realizó la programación para el PLC, con la ayuda del software de comunicación (Rslink) y edición (Rslogix), este software posee varias funciones que nos permitieron elaborar una lógica de control según las condiciones del área, además nos permitieron realizar la simulación del programa y forzar las señales digitales y analógicas, y así probarlas programando diferentes situaciones.

Quinta conclusión:

En la actualidad se requiere mayor disponibilidad de los equipos a menor costo, es por esta razón que el sistema que se está proponiendo es mucho más económico con respecto al sistema actual, porque el costo de los equipos es solo del 12.32% del costo total del sistema actual instalado, además garantiza mayor disponibilidad del sistema porque no depende de una señal para funcionar, además el proyecto se diseñó con la finalidad de poder funcionar en las condiciones más exigentes.

Se debe tomar en cuenta que la tecnología en la fabricación de los paneles solares está avanzando rápidamente, mejorando su eficiencia, y además va teniendo mayor aceptación en la minería, porque pueden ser instaladas en lugares donde no llegue la energía comercial.

## **5.2. Recomendaciones.**

Primera recomendación:

Se recomienda la verificación de la señal de los sensores cada 3 meses para poder tener una señal correcta en el PLC y verificar el escalamiento de las señales analógicas en el PLC, esto se puede realizar con un generador de señales de proceso.

Segunda recomendación:

Para realizar el mantenimiento o el cambio de algún panel se requiere usar una grúa, se recomienda instalar un sistema de montaje y desmontaje tipo telescopio para poder tener acceso a los paneles, si se instala un sistema de montaje y desmontaje los equipos que se encuentran en la parte superior se podrán deslizar hacia la parte inferior en su propio eje sin uso de grúa y sin exponer al personal de mantenimiento a una caída a desnivel.

Tercera recomendación:

Las baterías y el controlador de energía serán instaladas en las cajas ya existentes, es por esta razón que se recomienda hermetizar las cajas para evitar que ingrese la humedad y el polvo, y así optimizar el tiempo de vida de las baterías y el controlador de energía.

Cuarta recomendación:

Se recomienda retirar los sistemas de control hidráulico al exterior de la caja, con la finalidad de eliminar cualquier posibilidad de humedad dentro de la misma al momento de realizar el mantenimiento y las pruebas de este sistema. Así como vincular los niveles de presión de las líneas de agua en el sistema de riego, con el nivel del tanque, para mantener el nivel de los tanques por encima del 70 %.

### **Glosario de términos**

**Materia prima.**

La materia prima es el elemento principal en los diferentes procesos, el transformado de la materia prima da lugar a un producto más puro o con una ley más alta, la materia prima es extraída de la naturaleza.

**Chancadora.**

Es una etapa del proceso de extracción de mineral en las minas, el objetivo de la chancadora es reducir el diámetro del mineral extraído hasta ½” aproximadamente, para que pueda ser procesada en las demás etapas de proceso.

**Lixiviación.**

Cuando las rocas extraídas están formadas con minerales oxidados, estos pueden ser disueltos en una solución líquida, con el objetivo de separar estos minerales y puedan pasar a la siguiente etapa del proceso. Por ejemplo, en la lixiviación del cobre, se utiliza una solución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

**Electrolito.**

Es una sustancia conformada por aniones y cationes, debido a esto son capaces de conducir corriente eléctrica, estos electrolitos pueden ser ácidos, bases o sales disueltas, por ejemplo: el cloruro de sodio disuelto en agua.

**Solenoides.**

Conocida también como bobina o electroimán, es un material conductor enrollado en espiral en un armazón que tiene una forma cilíndrica, el cual genera un campo electromagnético. Esta bobina se usa para abrir y cerrar válvula o en relay.

Sinergia.

Significados.com (2015) sinergia significa cooperación, esta palabra es de origen griego, "synergía", que significa "trabajando en conjunto". Es la suma de todas las acciones, el esfuerzo para realizar una actividad muy compleja.

Control Lógico Programable (PLC).

Acosta (s.f.) el estándar IEC 61131 define una tarea como un elemento de ejecución de control, capaz de generar la ejecución de una secuencia de unidades organizadas de un programa o basada en periodicidad o basada en un evento.

Estándar IEC 61131-3.

IEC 61131 (2013) es la tercera parte de 8 estándares internacionales IEC 61131 para Controladores Lógicos Programables. Ésta parte trata de los lenguajes de programación y define los estándares de lenguajes gráficos y lenguajes en el PLC.

## **Bibliografía**

- Aeco-at. (2019). *Que es la mineria a tajo abierto*. Costa Rica: Aeco-at.
- Agreda, J. (24 de Mayo de 2016). *Diseño de vias y Rampas a Cielo Abierto*. Obtenido de scribd.com: <https://es.scribd.com>
- Bocardo, R. (2006). *Creatividad en la ingenieria de diseño*. Caracas: Equinoccio.
- Camiper. (10 de Junio de 2019). *Camiper*. Obtenido de Camiper : <https://camiper.com>
- Caterpillar. (2014). *Camion minero*. California: Caterpillar.
- Chaur, J. (2004). *Diseño conceptual de productos asistidos por ordenador: Un estudio analitico sobre aplicaciones y definiciones de la estructura basica de un nuevo programa*. Cataluña: Universidad de Cataluña.
- Company, H. (1950). *HBM Company*. Obtenido de HBM Web Site: <https://www.hbm.com>
- De la fuente, M. (1994). *Sensores*. España: Universidad de valladolid.
- Debora, P. J. (2005). *Caracterizacion de modulos fotovoltaicos con dispositivos portatiles*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Global, M. (18 de agosto de 2015). *Mining global*. Obtenido de Mining global: <https://www.miningglobal.com>
- Industrial, J. (2019). *JM Industrial*. Obtenido de JMI Web SiteE: <https://www.jmi.com.mx>
- Ingeoexpert. (19 de enero de 2018). *Ingeoexpert*. Obtenido de Ingeoexpert.com: <https://ingeoexpert.com>
- Instituto de Ingenieros del Perú. (2010). *Contribución al Desarrollo Económico y Social*. Lima.
- Kreimerman, R. (03 de marzo de 2009). *Uruguay se diseña*. Obtenido de Designuy.wordpress Web Site: <https://designuy.wordpress.com>
- Latifah, N. (20 de diciembre de 2017). *Amtiss*. Obtenido de Amtiss Web Site: <http://amtiss.com/5-biggest-truck-mine-in-the-world/>

- Marinovich Azabache, F. A. (2006). *Influencia del mantenimiento de vias sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo papm verde, minera la zanja cajamarca. Trujillo: universidad nacional de Trujillo. Trujillo: Universidad nacional de Trujillo.*
- Maxima Uriarte, J. (27 de marzo de 2019). *Caracteristicas.co*. Obtenido de Caracteristicas.co Web Site: <https://www.caracteristicas.co>
- Mejia Jervis , T. (2019). *Lifeder*. Obtenido de Lifeder Web Site: <https://www.lifeder.com>
- Mexicano, S. G. (04 de mayo de 2018). *Servicio Geológico Mexicano*. Obtenido de Servicio Geológico Mexicano Web Site: <https://www.sgm.gob.mx>
- Perez Porto, J., & Gardey, A. (2010). *Definicion*. Obtenido de Definicio Web Site: <https://definicion.de>
- Prieto, P. (08 de octubre de 2007). *Gobierno de España*. Obtenido de Gobierno de España Web Site: <http://recursostic.educacion.es>
- Raffina, M. E. (20 de marzo de 2019). *Concepto.pe*. Obtenido de Concepto.pe web site: <https://concepto.de>
- Rockwell Automation. (2019). *Rockwell Automation*. Obtenido de Rockwell Automation Web Site: <https://ab.rockwellautomation.com>
- Sunfields. (2007). *Sunfields*. Obtenido de Sunfields europe: <https://www.sfe-solar.com>
- TLX Technologies. (2009). *TLX Technologies*. Obtenido de TLX Technologies Web Site: <https://www.tlxtech.com/>
- UNED. (31 de Enero de 2019). *UNED*. Obtenido de ieec.uned.es: [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE6\\_1\\_2](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_2)
- Wikipedia. (21 de enero de 2004). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia.org Web Site: <https://es.wikipedia.org>

## **Anexos**

El sistema de clasificación NEMA, en la siguiente lista se muestra las diferentes clasificaciones NEMA y cómo se comparan entre sí.

- NEMA 1: Propósito general. Protege contra el polvo, luz, y salpicaduras indirectas, pero no es hermético al polvo; sobre todo evita que contacte con partes bajo tensión; utilizado en interiores y bajo condiciones atmosféricas normales.
- NEMA 2: Herméticamente. Similar al tipo 1 pero con escudos de goteo; utilizado en casos de condensación puede ser grave (como en las salas de refrigeración y lavanderías)
- NEMA 3 y 3S: Resistente a la intemperie. Protege contra los peligros meteorológicos como la lluvia y el granizo; utilizado al aire libre en los muelles de barcos, en la construcción y en los túneles y pasos subterráneos.
- NEMA 3R: Diseñado para uso al aire libre. Proporciona un grado de protección contra la lluvia y la formación de hielo. Cumple entrada varilla, lluvia, formación de hielo externo y la resistencia de herrumbre pruebas de diseño.
- NEMA 4 y 4x: El tiempo ajustado (resistente a la intemperie). Debe excluir por lo menos 65 GPM de agua desde 1 boquilla, emitido desde una distancia no inferior a 10 pies. Al aire libre usados en los muelles de barco, en las industrias lácteas y fábricas de cerveza.
- NEMA 5: Al polvo. Provistas de juntas o equivalente para excluir el polvo; utilizado en las acerías y fábricas de cemento.
- NEMA 6 y 6P: Sumergible. Según el diseño, depende de las condiciones específicas de presión y tiempo; sumergible en agua; utilizados en las canteras, minas y pozos.

- NEMA 7: Peligroso. Para uso en interiores en los grupos de clase I A, B, C y D entornos como se define en el Código Eléctrico Nacional (NEC).
- NEMA 8: Peligroso. Para el uso de interior y al aire libre en lugares clasificados como Clase I Grupos A, B, C y D como se define en la NEC.
- NEMA 9: Peligroso. Para el uso de interior y al aire libre en lugares clasificados como Clase II Grupos E, F o G como se define en la NEC.
- NEMA 10: MSHA. Cumple con los requisitos de la Administración de Seguridad y salud, 30 CFR parte 18 (1978).
- NEMA 11: Propósito general. Protege contra los efectos corrosivos de líquidos y gases. Cumple con las pruebas de goteo y la resistencia a la corrosión.
- NEMA 12 y 12 K: Propósito general. Diseñado para uso en interiores, proporciona una cierta protección contra el polvo, caída de suciedad y el goteo de líquidos no corrosivos. Cumple goteo, polvo y resistencia.
- NEMA 13: Propósito general. Se utiliza principalmente para proporcionar una protección contra el polvo, pulverización de agua, aceite y refrigerantes no corrosivos. Cumple con óxido y pruebas de diseño de resistencia exclusión del petróleo.

NEMA puede ser comparado con el sistema de IP como se puede observar líneas abajo. Otros factores tales como la protección contra la corrosión están involucrados en el sistema de NEMA, se aconseja siempre dirigirse a la documentación oficial para más detalles.

NEMA 1 = IP10

NEMA 2 = IP11

NEMA 3 = IP54

NEMA 4 = IP56

NEMA 4X = IP66

NEMA 6 = IP67

NEMA 12 = IP52



NEMA 13 = IP54

Un número IP contiene dos números (i.e. IP65) en la mayoría de los casos que se relacionan con el nivel de protección proporcionado por un producto. El primer número se refiere a la protección de los sólidos de la siguiente manera:

0: Ninguna protección especial.

1: Protegido contra objetos sólidos de hasta 50 mm de diámetro.

2: Protegido contra objetos sólidos de hasta 12 mm de diámetro.

3: Protegido contra objetos sólidos de hasta 2.5 mm de diámetro.

4: Protegido contra objetos sólidos de hasta 1 mm de diámetro.

5: Protegido contra el polvo.

6: Prueba de polvo.

El segundo número se refiere a la protección de los líquidos de la siguiente manera:

0: Ninguna protección especial.

1: Protegido contra goteo de agua.

2: Protegido contra goteo de agua cuando se inclina hasta 15 ° desde la posición normal.

3: Protegido contra la pulverización de agua.

4: Protegido contra salpicaduras de agua.

5: Protegido contra el agua pulverizada.

6: Protegido contra fuertes chorros de agua.

7: Protegido contra los efectos de la inmersión.

8: Protegido contra la inmersión.

Ejemplo: IP66 = hermético al polvo y protegido contra salpicaduras de gran chorro de agua.