ANEJO 17. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN. 3
2. NIVEL DE ILUMINACIÓN 3
3. PUNTO DE LUZ 4
4. ENERGÍA 4
5. CÁLCULOS ELÉCTRICOS. 11
6. CALCULOS SOLARES. 15

1. INTRODUCCIÓN.

Dada la longitud del túnel 01 de Alba del Campo (PK 197.369 a PK 197.630), de 262,08 m. aproximadamente, se ve necesaria la instalación de un sistema de iluminación artificial dentro del mismo, con el objeto de mejorar la seguridad de los usuarios del Camino Natural.

La iluminación se llevará a cabo mediante luminarias estancas de 36 W tipo LED; para conseguir una iluminación suficiente con mínimo coste, instaladas a una distancia de la boca de entrada y salida de 52,2 m., separadas entre sí cada 26,28 metros. Dichas luminarias tienen un grado de protección IP66 con una estanqueidad adecuada, son de policarbonato inyectado, con difusor de policarbonato transparente con prismatizado exterior de gran resistencia mecánica (IK07) y alimentación a 220 V, en color gris.

Con el objeto de mejorar el sistema de iluminación y posibilitar su accionamiento manual, se dispondrá en las bocas del túnel de pulsadores para la acción manual, con correspondiente señalización, para que pueda ser accionado por los peatones, el cual mantendrá el alumbrado del túnel en su totalidad durante 8 minutos (tiempo necesario para atravesar el túnel a una velocidad mínima de 3 km/h más un 50% como margen de seguridad).

Además, se dispondrá de un sistema de detección de movimiento para el encendido automático de la instalación de iluminación.

Con todo esto, se intenta ofrecer al usuario que transita por el Camino Natural un discurrir seguro en el túnel, que facilite la visualización de los posibles obstáculos y no suponga una interrupción de la ruta iniciada.

2. NIVEL DE ILUMINACIÓN.

Las instalaciones de alumbrado vial funcional, con independencia del tipo de lámpara, pavimento y de las características o geometría de la instalación, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se fijan a continuación:

Iluminación media en servicio Em (lux)	Eficiencia energética mínima ($m^2 \cdot lux / W$)
≤ 5	3,5

Con esta clasificación de alumbrado se ha definido, se ha diseñado con la Luminaria, con lámpara LED, con un consumo total por luminaria de 36 W, un flujo luminoso de 4000 Lm y una temperatura de color no superior a 4000ºk.

Se han colocado un total de 7 luminarias, con un consumo total de 252 W. tres de ellas dispondrán de equipo de emergencia.

La superficie a iluminar es de 1.452 m², obteniéndose una eficiencia energética de la instalación de 5,76 ($m^2 \cdot lux/W$).

3. PUNTO DE LUZ

Se han elegido aparatos que permiten el ahorro de energía mediante la tecnología LED, con un consumo por luminaria de 36 W y con una larga vida útil, de manera que se reducen los costes de reposición del material.

Entre la variedad de luminarias que existen en el mercado, se han escogido las de material plástico, con difusor de policarbonato de gran resistencia mecánica.

4. ENERGÍA

Dada la distancia hasta el punto de suministro más cercano, se propone un sistema con energía alternativa autónomo, formado por:

- 2 paneles fotovoltaicos de 270 Wp
- Un regulador en carga con MPPT integrado
- Un inversor-cargador sinusoidal monofásico de 800VA
- Cableado de distribución de la energía eléctrica y protecciones
- Batería estacionaria de 12V, 220Ah.

A continuación, se describen los elementos que componen la instalación, de modo pormenorizado.

Generador fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos son el elemento determinante de una instalación solar, por lo tanto, su calidad y tecnología son decisivas para el rendimiento y rentabilidad de la instalación.

Tras la experiencia acumulada y una prospección en el mercado, se aconseja la elección de módulos solares policristalinos. Ofrecen valores empíricos fiables durante más de cuarenta años de uso y prestan un alto rendimiento energético de forma duradera.

El generador fotovoltaico se ubicará orientado hacia el Sur, con un Azimut de 0º, teniendo en cuenta las condiciones del emplazamiento (cabeza del túnel 01).

Inicialmente se propone un panel fotovoltaico, marca EXIOM o equivalente, modelo EX270P-60 de 270 Wp de potencia pico.

Como principales características de los mismos cabe destacar:

- Células policristalinas muy eficientes y de alta potencia.
- Marco de aluminio liviano que ha sido optimizado con impermeabilidad y resistencia mejoradas, que impide cualquier daño en el módulo tanto por causa de bajas temperaturas como por flexión. Orificios especiales en los marcos de los módulos para montaje vertical y/o horizontal.

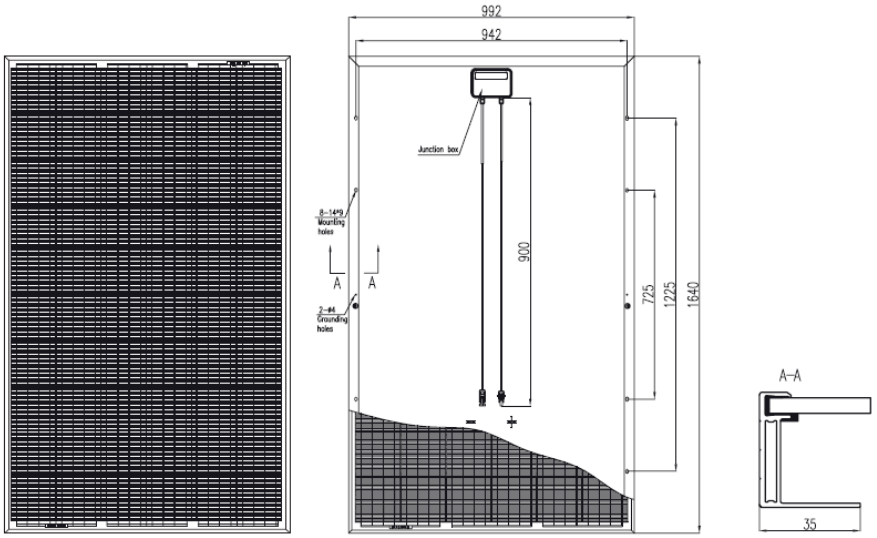
- Cristal muy transparente con bajo contenido en hierro y con alta resistencia a roturas.

- Avanzado sistema de aislamiento (EVA). Pruebas de acuerdo a la Norma IEC 61212 Ed2 aseguran que el módulo pueda soportar cargas pesadas de nieve, hielo acumulado y granizo de acuerdo a los estándares de la industria.

- Caja de bornas con diodo de "bypass" incorporado para minimizar las pérdidas por sombras y reducción del riesgo de fallos permanentes debido a calentamientos localizados (Hot-Spot effect).

- Garantía de 25 años de productividad.

Las características del panel son las que se indican en las siguientes tablas:



Características eléctricas	
Potencia Nominal - P_{max} (Wp)	270
Tensión en circuito abierto – V_{oc} (V)	37.9
Tensión en el punto de máxima potencia – V_{max} (V)	30.9
Corriente de cortocircuito – I_{sc} (A)	9.22
Corriente en el punto de máxima potencia – I_{max} (A)	8.73
Eficiencia (%)	16.50

Características constructivas	
Dimensiones	1.640x992x40 mm
Peso	15.50 Kg
Tipo de célula	Silicio policristalino
Tamaño de célula	156x156 mm (6")
Contactos	Redundantes, múltiples, en cada célula
Número de células por módulos	60 células
Marco	Aluminio anodizado

Toma de tierra	Si
Caja de conexión	1xIP65, con 6 diodos de bypass
Cables	Si, ≥1000 mm / 4 mm²
Conectores	MC4
VALORES PARA DISEÑO DEL SISTEMA	
Tensión máxima del sistema	1.000 V DC
Máxima carga física admisible	5.400 Pa
Condiciones de operación	-40ºC a +85ºC
Coeficiente de Tª de la corriente I_{sc}	0.05 %/ºC
Coeficiente de Tª de la tensión V_{oc}	-0.32 %/ºC

Medidas en las siguientes condiciones: Tª de célula 25 ºC, Radiación 1000 W/m², espectro AM 1.5

La tensión de trabajo del campo fotovoltaico, en corriente continua en el punto de máxima potencia nunca superará los 400 V.

Estos tipos de paneles utilizan células de silicio policristalino y multicristalino, que garantizan con un máximo rendimiento la producción eléctrica mientras exista radiación solar. Las cajas de conexiones para intemperie incorporan diodos de derivación (by-pass) para evitar la posibilidad de rotura de circuito eléctrico en el interior del módulo como consecuencia de sombreados parciales de alguna célula (se producen corrientes inversas que pueden romper el diodo por sobreintensidad).

Estructura soporte

Uno de los elementos más importantes de una instalación fotovoltaica, para asegurar un perfecto aprovechamiento de la radiación solar, es la estructura soporte, encargada de sustentar los módulos fotovoltaicos, dándole la inclinación más adecuada en cada caso para que los módulos reciban la mayor radiación, consiguiendo un aumento en su eficacia (30º-35º).

Las partes metálicas de la estructura estarán conectadas a la toma de tierra de la instalación.

Dicha estructura deberá resistir, además del peso propio de las dos placas fotovoltaicas (0,20 kN/m2 x 2 m2/placa x 2 placas), las solicitaciones propias del emplazamiento, tales como la carga del viento y la carga de nieve, que, conforme al Código Técnico de la Edificación, para el emplazamiento dado y tipología de estructura, pueden resultar de hasta 3,72 kN/m2 y de 1,91 KN/m2, respectivamente.

Dado que existen en el mercado estructuras específicas para este tipo de instalaciones, no se realiza el cálculo estructural de los perfiles metálicos convencionales, sino que, a la hora de seleccionar el modelo definitivo de entre los múltiples que existen en el mercado, se entiende que la dirección facultativa en la fase de dirección de la obra, deberá comprobar que el modelo elegido cumple con las solicitaciones indicadas (peso propio paneles, viento y nieve).

La estructura metálica quedará anclada sobre una base de hormigón, que también dependerá de la estructura elegida y deberá adaptarse a las exigencias de la misma (que marcará el propio fabricante). No obstante, en un principio se ha considerado

una base de hormigón HA-25/B/II-a, de 22 cm. de espesor, armada con ME 15X15 Ø 8-8 mm, B500T, dispuesta sobre el túnel referenciado.

Se utilizará una estructura metálica de soporte que servirá de base y apoyo para los módulos fotovoltaicos, para la instalación inclinada a 30º sobre suelo, conforme al emplazamiento de los planos.

Será un sistema inclinado. Los sistemas inclinados básicos son la solución más sencilla para sistemas inclinados. Este sistema utilizará dos perfiles ranurados transversales para sujetar una fila de módulos, Los módulos se anclan a los perfiles mediante piezas de fijación centrales y laterales y suelen montarse perpendicularmente, pero también es posible la disposición horizontal. A su vez, dichos perfiles se fijan sobre escuadras de aluminio de la inclinación necesaria.

Características del sistema

- Perfilería partamódulos en aluminio para diversas separaciones entre apoyos.
- Apoyos atornillables en aluminio para cualquier tipo de inclinación.
- Arriostramiento transversal.
- Tornillería en acero inoxidable.
- Anclajes y accesorios necesarios.
- Elementos de estanqueidad y sellado (neopreno, EPDm, taco químico).

Regulador de carga

Es el dispositivo encargado de proteger la batería de descargas profundas y sobrecargas, asegurando que la batería es ciclada de manera que no se reduzca su capacidad durante su vida útil. De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor, cerrado y conectado en serie entre paneles y baterías para el proceso de carga y abierto cuando la batería está totalmente cargada. Es uno de los componentes más económicos dentro de un sistema fotovoltaico, sin embargo, la correcta elección de este dispositivo, depende la fiabilidad a largo plazo del sistema y los costes de mantenimiento. El regulador a utilizar depende del tipo de batería.

Se instalará un regulador de carga, marca VICTRON ENERGY o equivalente, modelo PWM 12/14-20, con corriente de carga hasta 20A y tensión FV hasta 55V.

Las características principales del regulador son las que se indican en la siguiente tabla:

Características principales	
Tensión nominal de la batería	12/24V Selección automática
Corriente de carga nominal	20ª
Tensión máxima de circuito abierto FV	55V
Regulación de carga	4 estados: Carga máxima, Absorción, Flotación y Ecualización
Rango de temperaturas	-35ºC a 60ºC

Dimensiones	96x169x36 mm

Inversor / cargador cc/ca

Es el dispositivo encargado de recibir la energía recogida de los módulos fotovoltaicos y derivarla hacia el consumo convirtiendo la corriente continua en alterna, o bien dirigirla hacia las baterías con el fin de almacenarla hasta que se precise utilizarla, momento en el cual volverá a pasar la energía desde las baterías hacia el inversor para inyectar a la red eléctrica.

La carcasa metálica de los mismos irá conectada a la toma de tierra de la instalación.

Son equipos diseñados para inyectar a la red eléctrica convencional la energía producida por un generador fotovoltaico. Su principal misión es garantizar la calidad de la energía vertida a la red, así como aglutinar una serie de protecciones tanto para los operarios de mantenimiento de las redes como para el titular de la instalación.

Se encargan de convertir la energía generada en el campo fotovoltaico en corriente continua a corriente alterna a 230 V y sincronizar la frecuencia con la de la red.

Cumplen con todas las protecciones establecidas en la normativa vigente, en especial con las directrices del Real Decreto 1663/2000, la directiva 73/23/CEE, la directiva 89/336/CEE de compatibilidad electromagnética, y la directiva 93/68/CEE denominación CE, así como todos los requisitos técnicos establecidos en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones aisladas de Red, PCT-C Rev-febrero 2009.

Con el objeto de aprovechar al máximo las prestaciones del inversor, se realiza de forma habitual un sobredimensionado del campo fotovoltaico, es decir, se instala mayor potencia pico de módulos que la potencia nominal del inversor, esto es debido a que sólo en las horas centrales del día los módulos fotovoltaicos están produciendo el máximo de su potencia; además también existen pérdidas por suciedad acumulada, días nublados y temperaturas elevadas. Todas estas disminuciones de potencia se compensan con este sobredimensionado. Con ello se consigue optimizar el funcionamiento de la instalación e inyectar su máxima potencia durante más horas al día, obteniendo una mayor producción.

Se instalará un inversor, marca VICTRON ENERGY o equivalente, modelo PHOENIX, ref. 12/800, con una potencia nominal de 800VA.

Las características principales del inversor son las que se indican en la siguiente tabla:

Inversor Phoenix 12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)	250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C	200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia	400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)	230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada	9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)	9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga) Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)	Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve.direct: phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)	10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)	14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.	87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío	4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)	0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO	Ajustable				
Protección (2)	a - f				
Rango de temperatura de trabajo	-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)	máx. 95%				
CARCASA					
Material y color	Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)				
Conexión de la batería	Bornes de tornillo				
Sección de cable máxima:	10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	25/10/10mm² / AWG4/8/8	35/25/25 mm² / AWG 2/4/4
Tomas de corriente CA estándar	230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R, GFCI				
Tipo de protección	IP 21				
Peso	2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8.5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)	86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 172 x 275 3,4 x 6,8 x 10,8	105 x 216 x 305 4.1 x 8.5 x 12.1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4.6 x 9.1 x 12.9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)
ACCESORIOS					
On/Off remoto	SI				
Conmutador de transferencia automático	Filax				
ESTÁNDARES					
Seguridad	EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1				
EMC	EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3				
Directiva de automoción	ECE R10-4				

1) Carga no lineal, factor de cresta 3:1
2) Claves de protección:
a) cortocircuito de salida
b) sobrecarga
c) tensión de la batería demasiado alta
d) tensión de la batería demasiado baja
h) temperatura demasiado alta
f) ondulación CC demasiado alta

Batería - acumulador

En los sistemas fotovoltaicos las baterías o acumuladores se emplean principalmente como sistema de almacenamiento energético, debido al desplazamiento temporal que puede existir entere los periodos de generación (durante el día) y los periodos de consumo (p.e. la noche), permitiendo la operación de las cargas o consumos cuando el generador FV por sí mismo no puede generar la potencia suficiente para abastecerlos.

El ciclado de la batería se refiere al proceso de carga y descarga en una batería. La descarga es el proceso en el que la batería suministra una corriente durante un determinado tiempo (régimen de descarga). En la carga, la batería recibe o acepta una determinada corriente durante un tiempo determinado (régimen de carga). Se

considera un ciclo como una descarga seguida de una recarga.

La capacidad es una medida del poder de la batería para almacenar o suministrar energía eléctrica, y se expresa comúnmente en amperios-hora, por ejemplo, si una batería se dice que tiene una capacidad de 180Ah a un régimen de C10, esto se interpreta como que si la batería fuese descargada durante 10 horas a una corriente constante de C10 (180/10=18A), entonces se podría obtener 180Ah.

El acumulador utilizado es: Batería OPzS estacionaria, marca VICTRON ENERGY o equivalente, modelo: GEL VICTRON 220Ah C100.

Las características principales de las baterías son las que se indican en la siguiente tabla:

12 Volt Deep Cycle AGM							Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	lxanxal mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate AGM Bornes: cobre, M8
BAT406225080	240	6	320x176x247	31	1500	480	Capacidad nominal: descarga en 20h a 25°C Dur. de vida en flotación: 7-10 años a 20 °C Dur. de vida en ciclos: 400 ciclos en descarga 80% 600 ciclos en descarga 50% 1500 ciclos en descarga 30%
BAT212070080	8	12	151x65x101	2,5			
BAT212120080	14	12	151x98x101	4,1			
BAT212200080	22	12	181x77x167	5,8			
BAT412350080	38	12	197x165x170	12,5			
BAT412550080	60	12	229x138x227	20	450	90	
BAT412600080	66	12	258x166x235	24	520	100	
BAT412800080	90	12	350x167x183	27	600	145	
BAT412101080	110	12	330x171x220	32	800	190	
BAT412121080	130	12	410x176x227	38	1000	230	
BAT412151080	165	12	485x172x240	47	1200	320	
BAT412201080	220	12	522x238x240	65	1400	440	

Elementos de protección, maniobra y medida

Los elementos de protección, maniobra y medida se prevén de acuerdo al Reglamento electrotécnico de baja tensión.

En cuanto a la protección y maniobra se distinguen dos partes: aguas arriba del inversor, donde la corriente es continua y aguas abajo del inversor-variador o regulador, donde la corriente es alterna.

Cableado y línea general

El sistema de distribución en el campo de módulos, incluye los conductores activos de cobre que transportan la energía producida y los conductores auxiliares.

Todos los conductores de CC, y también los que van de la caja de conexiones cercana al generador hasta el variador o regulador y su respectiva aparamenta, serán de doble aislamiento e irán bajo tubo protector en lo posible. Cumplirán lo establecido en la Norma UNE 21123:2017.

El cableado de la instalación se realizará acorde con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión vigente. Serán adecuados para uso en intemperie, al aire o enterrado, RV-K Eca, tensión nominal 0.6/1kV, con aislamiento de Polietileno Reticulado (XLPE) y cubierta de Policloruro de Vinilo (PVC) en color negro (Norma UNE 21123:2017).

Toma de tierra

Tal y como exige el Real Decreto 1663/2000, la instalación fotovoltaica tendrá su toma de tierra independiente de otras instalaciones existentes.

Con ella se protegerá a la instalación de sobretensiones inducidas por fenómenos atmosféricos y a las personas en contacto directo sobre las masas de la instalación si en estas se produjera avería.

Su diseño estará basado en la Instrucción Técnica Complementaria MIE-RAT 13 del reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

Al proteger la línea con un diferencial con sensibilidad de 300 mA, se deberá asegurar que el valor de la resistencia de tierra sea inferior a 80 ohmios para que la tensión de contacto no supere los 24 V.

5. CÁLCULOS ELÉCTRICOS.

Fórmulas Generales

Emplearemos las siguientes:

Sistema Trifásico

$$I = Pc / 1{,}732 \times U \times \cos\varphi = amp\ (A)$$

$$e = 1.732 \times I[(L \times \cos\varphi / k \times S \times n) + (Xu \times L \times \operatorname{Sen}\varphi / 1000 \times n)] = voltios\ (V)$$

Sistema Monofásico:

$$I = Pc / U \times \cos\varphi = amp\ (A)$$

$$e = 2 \times I[(L \times \cos\varphi / k \times S \times n) + (Xu \times L \times \operatorname{Sen}\varphi / 1000 \times n)] = voltios\ (V)$$

En donde:

- Pc = Potencia de Cálculo en Watios.
- L = Longitud de Cálculo en metros.
- e = Caída de tensión en Voltios.
- K = Conductividad.
- I = Intensidad en Amperios.
- U = Tensión de Servicio en Voltios (Trifásica ó Monofásica).
- S = Sección del conductor en mm².
- Cos φ = Coseno de fi. Factor de potencia.
- n = Nº de conductores por fase.
- Xu = Reactancia por unidad de longitud en mW/m.

Fórmula Conductividad Eléctrica

$K = 1/r$

$r = r_{20}[1+a\ (T-20)]$

$T = T_0 + [(T_{max}-T_0)\ (I/I_{max})^2]$

Siendo,

- K = Conductividad del conductor a la temperatura T.
- r = Resistividad del conductor a la temperatura T.
- r20 = Resistividad del conductor a 20°C.
  - C = 0.017241 ohmiosxmm²/m
  - Al = 0.028264 ohmiosxmm²/m
- a = Coeficiente de temperatura:
  - Cu = 0.003929
  - Al = 0.004032
- T = Temperatura del conductor (°C).
- T0 = Temperatura ambiente (°C):
  - Cables enterrados = 25°C
  - Cables al aire = 40°C
- T_{max} = Temperatura máxima admisible del conductor (°C):

  XLPE, EPR = 90°C.

  - PVC = 70°C.
- I = Intensidad prevista por el conductor (A).
- I_{max} = Intensidad máxima admisible del conductor (A).

<u>Fórmulas sobrecargas</u>

Ib □□In □□Iz

I2 □□1,45 Iz

Donde:

- Ib: intensidad utilizada en el circuito.
- Iz: intensidad admisible de la canalización según la norma UNE-HD 60364-5-52.
- In: intensidad nominal del dispositivo de protección. Para los dispositivos de protección regulables, In es la intensidad de regulación escogida.
- I2: intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección. En la práctica I2 se toma igual:
  - A la intensidad de funcionamiento en el tiempo convencional, para los interruptores automáticos (1,45 In como máximo).
  - A la intensidad de fusión en el tiempo convencional, para los fusibles (1,6 In).

<u>Fórmulas Resistencia Tierra</u>

Placa enterrada

$$Rt = 0{,}8 \cdot r / P$$

Siendo,

- Rt: Resistencia de tierra (Ohm)
- r: Resistividad del terreno (Ohm·m)
- P: Perímetro de la placa (m)

Pica vertical

$$Rt = r / L$$

Siendo,

- Rt: Resistencia de tierra (Ohm)
- r: Resistividad del terreno (Ohm·m)
- L: Longitud de la pica (m)

Conductor enterrado horizontalmente

$$Rt = 2 \cdot r / L$$

Siendo,

- Rt: Resistencia de tierra (Ohm)
- r: Resistividad del terreno (Ohm·m)
- L: Longitud del conductor (m)

Asociación en paralelo de varios electrodos

$$Rt = 1 / (Lc/2r + Lp/r + P/0,8r)$$

Siendo,

- Rt: Resistencia de tierra (Ohm)
- r: Resistividad del terreno (Ohm·m)
- Lc: Longitud total del conductor (m)
- Lp: Longitud total de las picas (m)
- P: Perímetro de las placas (m)

Red Alumbrado Tunel

Las características generales de la red son:

Tensión(V): Trifásica 400, Monofásica 230.9

C.d.t. máx.(%): 3

Cos φ = 1

Resultados obtenidos para las distintas ramas y nudos:

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Long. (m)	Metal/ Xu(mW/m)	Canal./Design./Polar.	I.Cálculo (A)	In/Ireg (A)	In/Sens. Dif(A/mA)	Sección (mm2)	I. Admisi. (A)/Fc	D.tubo (mm)
1	1	2	52,2	Cu	Tubos Sup.E.O H07Z1-K(AS) Cca-s1b,d1,a1 2 Unp.	1,09			2x2,5	20/1	16
2	2	3	26,28	Cu	Tubos Sup.E.O H07Z1-K(AS)	0,94			2x2,5	20/1	16

					Cca-s1b,d1,a1 2 Unp.						
3	3	4	26,28	Cu	Tubos Sup.E.O H07Z1-K(AS) Cca-s1b,d1,a1 2 Unp.	0,78			2x2,5	20/1	16
4	4	5	26,28	Cu	Tubos Sup.E.O H07Z1-K(AS) Cca-s1b,d1,a1 2 Unp.	0,62			2x2,5	20/1	16
5	5	6	26,28	Cu	Tubos Sup.E.O H07Z1-K(AS) Cca-s1b,d1,a1 2 Unp.	0,47			2x2,5	20/1	16
6	6	7	26,28	Cu	Tubos Sup.E.O H07Z1-K(AS) Cca-s1b,d1,a1 2 Unp.	0,31			2x2,5	20/1	16
7	7	8	26,28	Cu	Tubos Sup.E.O H07Z1-K(AS) Cca-s1b,d1,a1 2 Unp.	0,16			2x2,5	20/1	16

Nudo	C.d.t.(V)	Tensión Nudo(V)	C.d.t.(%)	Carga Nudo	Ik3Max (kA)	Ik1Max (kA)	Ik1Min (kA)	Ik2Max (kA)	Ik2Min (kA)
1	0	230,94	0	(252 W)					
2	0,848		0,367	(-36 W)					
3	1,213		0,525	(-36 W)					
4	1,518		0,657	(-36 W)					
5	1,762		0,763	(-36 W)					
6	1,945		0,842	(-36 W)					
7	2,067		0,895	(-36 W)					
8	2,128		0,921*	(-36 W)					

Nota:

- * Nudo de mayor c.d.t.

Caida de tensión total en los distintos itinerarios:

1-2-3-4-5-6-7-8 = 0,92 %

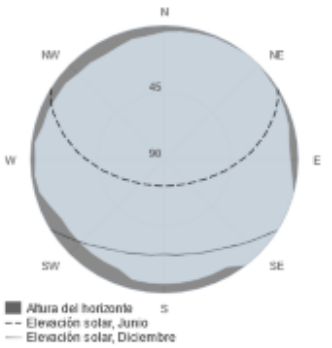
6. CALCULOS SOLARES.

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar

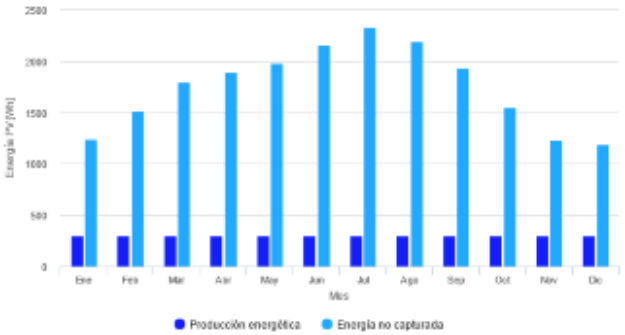
Datos proporcionados

Latitud/Longitud:	40.594,-1.398	Ángulo de inclinación:	35 °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut	0 °
Base de datos:	PVGIS-SARAH2	**Resultados de la simulación**	
FV instalado:	540 Wp	Porcentaje días batería cargada:	99.4 %
Capacidad de la batería:	3000 Wh	Porcentaje días batería descargada:	0 %
Limitador de descarga:	40 %	Energía media no capturada:	1763.78 Wh
Consumo diario:	300 Wh	Energía media que falta:	0 Wh

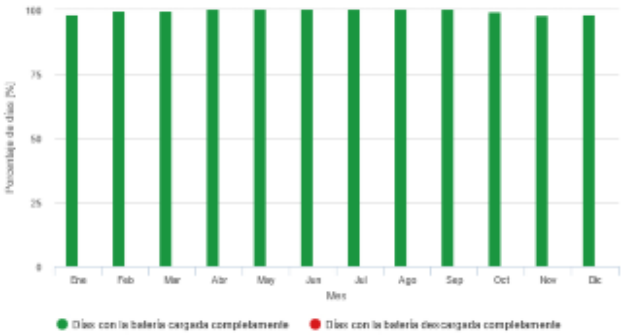
Perfil del horizonte en la localización



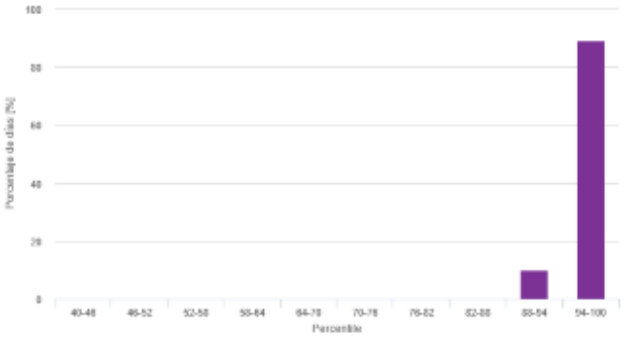
Producción energética estimada para un sistema FV autónomo:



Rendimiento de la batería para un sistema FV autónomo:



Probabilidad del estado de carga de la batería al final del día:



Rendimiento medio mensual

Mes	E_d	E_l	f_f	f_e
Enero	299.9	1243.7	98.2	0.0
Febrero	300.3	1512.8	99.8	0.0
Marzo	300.2	1797.7	99.6	0.0
Abril	300.1	1891.1	100.0	0.0
Mayo	300.1	1979.6	100.0	0.0
Junio	300.1	2154.5	100.0	0.0
Julio	299.8	2334.5	100.0	0.0
Agosto	299.9	2190.8	100.0	0.0
Septiembre	299.8	1937.1	100.0	0.0
Octubre	299.6	1553.4	99.2	0.0
Noviembre	299.8	1230.1	97.9	0.0
Diciembre	300.0	1190.7	98.2	0.0

E_d: Producción energética media diaria [Wh/día].
E_l: Energía media diaria no capturada [Wh/día].
f_f: Porcentaje de días con la batería cargada completamente [%].
f_e: Porcentaje de días en los que la batería se descarga completamente [%].

Cs	Cb
40-46	0.0
46-52	0.0
52-58	0.0
58-64	0.0
64-70	0.0
70-76	0.0
76-82	0.0
82-88	0.0
88-94	10.0
94-100	89.0

Cs: Estado de carga al final de cada día [%].
Cb: Porcentaje de días con este estado de carga [%].

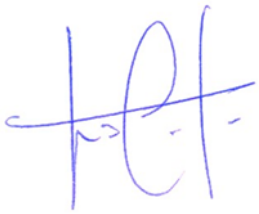
La Comisión Europea mantiene esta web para facilitar el acceso público a la información sobre sus iniciativas y las políticas de la Unión Europea en general. Nuestro propósito es mantener la información precisa y al día. Trataremos de corregir los errores que se nos señalen. No obstante, la Comisión declina toda responsabilidad en relación con la información incluida en esta web.

Aunque hacemos lo posible por reducir al mínimo los errores técnicos, algunos datos o informaciones contenidos en nuestra web pueden haberse creado o estructurado en archivos o formatos no exentos de dichos errores, y no podemos garantizar que

PVGIS ©Unión Europea, 2001-2023.
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged save where otherwise stated.

Madrid, septiembre de 2026.

Autor del proyecto, Luis Cañada López



Ingeniero Agrónomo