



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE
AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA
FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARKING
EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA
UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Oliver Martínez, Adrián

Tutor/a: Figueres Amorós, Emilio

Cotutor/a: González Medina, Raúl

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE
AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA
FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARKING
EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA
UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Oliver Martínez, Adrián

Tutor/a: Figueres Amorós, Emilio

Cotutor/a: González Medina, Raúl

CURSO ACADÉMICO:

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres de nuevo el apoyo en estos dos años de camino de máster y por supuesto, en los 8 años de carrera en conjunto global.

Afortunadamente, estos dos años han sido más llevaderos que los 6 anteriores (aunque haya habido que trabajárselo también evidentemente).

Esto es, por tanto, mi último documento elaborado en la universidad y estoy convencido que estos dos años me van a servir para conseguir mayores objetivos en mi vida laboral a medio plazo.

Muchas gracias por todo.

RESUMEN

El objetivo principal del TFM propuesto es el diseño de una instalación de generación eléctrica a partir de fuentes renovables (fotovoltaica y eólica) destinada al autoconsumo de los edificios colindantes a uno de los parkings de la Universitat de les Illes Balears. La instalación estará localizada en dicho parking, en el cual se dimensionarán estructuralmente unas pérgolas de sombraje sobre las que irían montados los módulos fotovoltaicos y uno o varios pequeños aerogeneradores de apoyo. Previo al diseño, se llevará a cabo un estudio de alternativas para determinar tanto la potencia como la arquitectura de la instalación de generación, de acuerdo con los consumos de la universidad en función de la estación del año y el impacto previsto de los puntos de recarga de vehículos eléctricos sobre el consumo a corto, medio y largo plazo. También se tendrá en cuenta las condiciones meteorológicas del emplazamiento para estimar la producción tanto de los módulos fotovoltaicos como de los aerogeneradores. Una vez determinada la solución más adecuada, se llevará a cabo el diseño de la instalación de generación renovable, incluyendo cálculos estructurales de los soportes para los aerogeneradores y de las pérgolas, las cuales deben soportar los esfuerzos a los que se verá sometida, en particular los debidos a la acción del viento, durante el período estipulado de correcto funcionamiento de la instalación. Se realizará el proyecto ejecutable de la solución elegida, incluyendo todos los elementos constructivos necesarios, la evaluación económica, protecciones colectivas, adecuación de las instalaciones existentes, la seguridad durante su ejecución, la normativa en vigor, las consideraciones estructurales, la decisión sobre el punto de vertido a red, etc.

Palabras clave: Diseño, renovables, pérgolas, puntos de recarga, autoconsumos.

RESUM

L'objectiu principal del TFM proposat és dissenyar una instal·lació de generació elèctrica a partir de fonts renovables (fotovoltaica i eòlica) destinada a l'autoconsum dels edificis confrontants a un dels pàrquings de la Universitat de les Illes Balears. La instal·lació estarà localitzada en aquest estacionament, en el qual es dimensionaran estructuralment unes pèrgoles de ombratge sobre les quals aniran muntades els mòduls fotovoltaics i un o diversos aerogeneradors de suport. Amb el disseny previ, es durà a terme un estudi d'alternatives per determinar tant la potència com l'arquitectura de la instal·lació de generació, d'acord amb els consums de la universitat en funció de l'estació de l'any i l'impacte previst dels punts de recàrrega de vehicles elèctrics sobre el consum a curt, mitjà i llarg termini. També es tindran en compte les condicions meteorològiques de l'emplaçament per estimar la producció tant dels mòduls fotovoltaics com dels aerogeneradors. Una vegada determinada la solució més adequada, es durà a terme el disseny de la instal·lació de generació renovable, incloent càlculs estructurals dels suports per als aerogeneradors i de les pèrgoles, les quals han de suportar els esforços a què es veurà sotmesa, en particular els deguts a l'acció del vent, durant el període estipulat de funcionament correcte de la instal·lació. Es realitzarà el projecte executable de la solució triada, incloent-hi tots els elements constructius necessaris, l'avaluació econòmica, les proteccions col·lectives, l'adequació de les instal·lacions existents, la seguretat durant la seva execució, la normativa en vigor, les consideracions estructurals, la decisió sobre el punt d'abocament a xarxa, etc.

Paraules clau: disseny, renovables, pèrgoles, punts de recàrrega, autoconsums.

ABSTRACT

The main objective of the proposed TFM is the design of an electricity generation facility from renewable sources (photovoltaic and wind) intended for self-consumption of the buildings adjacent to one of the parking lots of the University of the Balearic Islands. The installation will be located in said parking lot, in which shading pergolas will be structurally dimensioned on which the photovoltaic modules and one or several small support wind turbines were mounted. Prior to the design, a study of alternatives will be carried out to determine both the power and the architecture of the generation facility, in accordance with the university's consumption depending on the season of the year and the expected impact of the charging points of electric vehicles on consumption in the short, medium and long term. The meteorological conditions of the site will also be considered to estimate the production of both the photovoltaic modules and the wind turbines. Once the most appropriate solution has been determined, the design of the renewable generation installation will be carried out, including structural calculations of the supports for the wind turbines and the pergolas, which must withstand the stresses to which it will be subjected, in particular those due to the action of the wind, during the stipulated period of correct operation of the installation. The executable project of the chosen solution will be carried out, including all the necessary construction elements, the economic evaluation, collective protections, adaptation of the existing facilities, safety during its execution, the regulations in force, structural considerations, the decision on the point from pouring to electrical network, etc.

Keywords: design, renewables, canopies, charging points, self-consumption.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTOS INCLUIDOS EN EL TFM

- **Memoria**
- **Estudio económico**
- **Planos**
- **Pliego de condiciones técnicas**

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

DOCUMENTO 1

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1 Antecedentes	17
1.1.1 Uso de pérgolas fotovoltaicas para generación de energía	17
1.1.2 Aerogeneradores de autoconsumo	18
2. MOTIVACIÓN	19
3. OBJETIVOS	19
4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	20
5. ANÁLISIS PREVIO: PREDISEÑO	21
5.1 Características globales de la instalación	21
5.1.1 Ubicación, Superficie y distribución	21
5.2 Estudio del consumo por plazos de ocupación	23
5.2.1 Selección de los cargadores	26
5.2.2 Estudio a corto plazo	27
5.2.2 Estudio a medio plazo	29
5.2.3 Estudio a largo plazo	30
5.2.4 Estudio de la rentabilidad económica de la instalación	32
5.3 Estudio de la producción: Obtención del número de módulos y pérgolas	34
5.3.1 Selección de los paneles fotovoltaicos	34
5.3.2 Estudio de la producción anual	37
5.3.3 Comparación consumo vs producción	46
6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN	49
6.1 Características particulares de la instalación: pérgolas	49
6.1.1 Diseño de las pérgolas	49
6.1.2 Cálculos estructurales	53

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

6.1.3 Selección de las pérgolas.....	60
6.2 Características particulares de la instalación: instalación fotovoltaica.....	60
6.2.1 Selección de los inversores	60
6.2.2 Diseño del <i>layout</i>	65
6.2.3 Selección del cableado	67
6.2.4 Protecciones y aparamenta eléctrica.....	73
6.3 Características particulares de la instalación: aerogeneradores	79
6.3.1 Cálculos estructurales.....	79
6.3.2 Selección de los inversores	85
6.3.3 Diseño del <i>layout</i>	85
6.3.4 Selección del cableado	86
6.3.4 Protecciones y aparamenta eléctrica.....	90
6.4 Características particulares de la instalación: puntos de recarga.....	92
6.4.1 Selección de cableado	92
6.4.2 Protecciones y aparamenta eléctrica.....	95
6.5 Resultados globales	96
6.5.1 Potencia total generada	96
6.5.2 Pérdidas totales	96
6.5.3 Planificación de los trabajos.....	97
6.5.4 Impacto visual.....	99
6.5.5 Impacto ambiental	99
6.5.6 Gestión de residuos	99
7. Sistema de control y monitorización	100
8. Conclusiones	101
8.1 Proyecto.....	101
8.2 Ampliaciones del proyecto.....	102
9. Bibliografía.....	102

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: DIMENSIONES DE LAS TIPOLOGÍAS DE APARCAMIENTO.....	22
TABLA 2: DIMENSIONES DE LAS TIPOLOGÍAS DE APARCAMIENTO (TRAPECIOS)	22
TABLA 3: NÚMERO DE PLAZAS DE APARCAMIENTO POR TIPOLOGÍAS.....	26
TABLA 4: SELECCIÓN DE FABRICANTES DE CARGADORES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	27
TABLA 5: INFORMACIÓN ADICIONAL PREVIA AL ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD.....	33
TABLA 6: TABLA RESUMEN DEL VAN, TIR Y PAYBACK PARA CADA ESCENARIO	34
TABLA 7: SELECCIÓN DE FABRICANTES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	35
TABLA 8: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO TRINASOLAR TSM-DE18M(II)	36
TABLA 9: COSTES DE MATERIAL SEGÚN LA PROPUESTA 1	39
TABLA 10: COSTES DE MATERIAL SEGÚN LA PROPUESTA 2.....	41
TABLA 11: COSTES DE MATERIAL SEGÚN LA PROPUESTA 3	43
TABLA 12: TABLA RESUMEN DE LAS PROPUESTAS.....	43
TABLA 13: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AEROGENERADOR ENAIR 200L	44
TABLA 14: NÚMERO DE MÓDULOS POR TIPOLOGÍA DE APARCAMIENTO	44
TABLA 15 (EXTRACTO DE LA TABLA 1 Y TABLA 2): DIMENSIONES DE LAS TIPOLOGÍAS 2 Y 3 DE APARCAMIENTO	49
TABLA 16: DATOS DE PESOS DE LA MARQUESINA EN FUNCIÓN DE SU TIPOLOGÍA.....	53
TABLA 17: CARGA TOTAL DE PESOS SEGÚN LA TIPOLOGÍA DE MARQUESINA	54
TABLA 18: SELECCIÓN DE FABRICANTES DE MARQUESINAS DOBLES.....	60
TABLA 19: SELECCIÓN DE FABRICANTES DE MARQUESINAS SIMPLES.....	60
TABLA 20: SELECCIÓN DE FABRICANTES DE INVERSORES	61
TABLA 21: CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR SOLAX X3-MGA-60K-G2	62
TABLA 22: COMBINACIONES DE NÚMERO DE STRINGS EN SERIE Y PARALELO QUE CUMPLEN CON ESPECIFICACIONES PARA INVERSOR 1 Y 2.....	63
TABLA 23: COMBINACIONES DE NÚMERO DE STRINGS EN SERIE Y PARALELO QUE CUMPLEN CON ESPECIFICACIONES PARA INVERSOR 3.....	64
TABLA 24: NÚMERO DE MÓDULOS EN SERIE Y PARALELO A CONECTAR POR INVERSOR	65
TABLA 25: DISTANCIAS DE CABLES HASTA EL INVERSOR EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DE LA CIMENTACIÓN EN LA PÉRGOLA. EN AZUL, SE ASUME MISMAS DISTANCIAS PARA TODOS LOS CABLES DE LA INSTALACIÓN; EN ROJO, LA SECCIÓN SERÁ LA MISMA QUE PARA EL TRAMO 3_10.....	67
TABLA 26: SECCIONES DE CADA CABLE SEGÚN LA CIMENTACIÓN DE LA PÉRGOLA	69
TABLA 27: PÉRDIDAS DE CADA CABLE POR PÉRGOLA DE LAS CIMENTACIONES 1 A 9 PARA LAS 3 PÉRGOLAS.....	70
TABLA 28: PÉRDIDAS PARA LA CIMENTACIÓN 11 DEL INVERSOR 3	70
TABLA 29: DISTANCIAS DE LOS INVERSORES AL CUADRO AC DE BAJA TENSIÓN	70
TABLA 30: SECCIONES DE CABLE DE CORRIENTE ALTERNA DE LOS INVERSORES AL CUADRO DE BAJA TENSIÓN	72
TABLA 31: PÉRDIDAS DE CABLE DESDE LOS INVERSORES AL CUADRO DE BAJA EN CORRIENTE ALTERNA.....	72
TABLA 32: CARACTERÍSTICAS DEL FABRICANTE LEADER GROUP	72
TABLA 33: CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DIFERENCIAL ESCOGIDO	76
TABLA 34: CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO ESCOGIDO	76
TABLA 35: CARACTERÍSTICAS DEL CONTACTOR ESCOGIDO	77
TABLA 36: CARACTERÍSTICAS DEL RELÉ DE FRECUENCIA ESCOGIDO	78
TABLA 37: CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO ESCOGIDO	78
TABLA 38: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO SEGÚN EL ESPESOR	81
TABLA 39: SELECCIÓN DE FABRICANTES DE INVERSORES EÓLICOS	85
TABLA 40: CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR DEYE SUN-10K-SG04LP3-EU	85

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

TABLA 41: DISTANCIAS DE CABLE EN CORRIENTE CONTINUA HACIA EL INVERSOR	87
TABLA 42: SECCIÓN DEL CABLE DE CORRIENTE CONTINUA PARA EL AEROGENERADOR	87
TABLA 43: PÉRDIDAS DEL CABLE DE CORRIENTE CONTINUA PARA EL AEROGENERADOR.....	88
TABLA 44: DISTANCIA DE CABLE DESDE EL INVERSOR EÓLICO HACIA EL CUADRO AC DE BAJA TENSIÓN	88
TABLA 45: SECCIÓN DEL CABLE DE CORRIENTE ALTERNA PARA EL AEROGENERADOR	89
TABLA 46: PÉRDIDAS DEL CABLE DE CORRIENTE ALTERNA PARA EL AEROGENERADOR.....	90
TABLA 47: DISTANCIAS DE CABLES DESDE LOS PUNTOS DE RECARGA HACIA EL CUADRO DE AC.....	93
TABLA 48: SECCIONES DE CABLE DE CORRIENTE ALTERNA	94
TABLA 49: PÉRDIDAS DE CABLE DE CORRIENTE ALTERNA.....	95
TABLA 50: CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO ESCOGIDO	96
TABLA 51: ENERGÍA TOTAL GENERADA POR LA INSTALACIÓN MIXTA AL AÑO	96
TABLA 52: PÉRDIDAS TOTALES DE LA INSTALACIÓN MIXTA AL AÑO	97
TABLA 53: PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS	98
TABLA 54: DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES Y SU RESPECTIVO CÓDIGO	99
TABLA 55: DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y SU RESPECTIVO CÓDIGO	99
TABLA 56: DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS DE FLORA Y SU RESPECTIVO CÓDIGO	100

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1: PLANIFICACIÓN DEL PREDISEÑO	20
ILUSTRACIÓN 2: PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	20
ILUSTRACIÓN 3: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	21
ILUSTRACIÓN 4: DISTRIBUCIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS DE APARCAMIENTO	22
ILUSTRACIÓN 5: DIMENSIONES DE LAS PLAZAS DE APARCAMIENTO SEGÚN LA ORDENANZA MUNICIPAL DEL AYTO. DE PALMA DE MALLORCA	25
ILUSTRACIÓN 6: DISTRIBUCIÓN DE LAS PLAZAS DE APARCAMIENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	26
ILUSTRACIÓN 7: NÚMERO DE PLAZAS PARA CARGADORES A CORTO PLAZO	27
ILUSTRACIÓN 8: CONSUMO MENSUAL DE LOS CARGADORES A CORTO PLAZO	28
ILUSTRACIÓN 9: CONSUMO POR ESTACIÓN DEL AÑO A CORTO PLAZO	29
ILUSTRACIÓN 10: NÚMERO DE PLAZAS PARA CARGADORES A MEDIO PLAZO.....	29
ILUSTRACIÓN 11: CONSUMO MENSUAL DE LOS CARGADORES A MEDIO PLAZO	30
ILUSTRACIÓN 12: CONSUMO POR ESTACIÓN DEL AÑO A MEDIO PLAZO	30
ILUSTRACIÓN 13: NÚMERO DE PLAZAS PARA CARGADORES A LARGO PLAZO.....	31
ILUSTRACIÓN 14: CONSUMO MENSUAL DE LOS CARGADORES A LARGO PLAZO.....	31
ILUSTRACIÓN 15: CONSUMO POR ESTACIÓN DEL AÑO A LARGO PLAZO.....	32
ILUSTRACIÓN 16: EVOLUCIÓN DEL VAN PARA CADA ESCENARIO	33
ILUSTRACIÓN 17: LISTADO DE LAS PRINCIPALES TIPOLOGÍAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	34
ILUSTRACIÓN 18: TIER 1 DE FABRICANTES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	35
ILUSTRACIÓN 19: DATOS DE ÁNGULOS DE INCLINACIÓN Y AZIMUT ÓPTIMOS PARA LA UBICACIÓN DE ESTUDIO.....	36
ILUSTRACIÓN 20: PRODUCCIÓN MENSUAL DEL AEROGENERADOR ENAIR 70 PRO	38
ILUSTRACIÓN 21: PRODUCCIÓN ESTIMADA FOTOVOLTAICA SEGÚN PROGRAMA PVGIS PARA COMPENSAR LOS CONSUMOS.....	38
ILUSTRACIÓN 22: COMBINACIÓN DE PRODUCCIÓN EÓLICA+FOTOVOLTAICA VERSUS EL CONSUMO CON 15 PUNTOS DE RECARGA	39
ILUSTRACIÓN 23: PRODUCCIÓN MENSUAL DEL AEROGENERADOR ENAIR 200L	40
ILUSTRACIÓN 24: PRODUCCIÓN ESTIMADA FOTOVOLTAICA SEGÚN PROGRAMA PVGIS PARA COMPENSAR LOS CONSUMOS.....	40
ILUSTRACIÓN 25: COMBINACIÓN DE PRODUCCIÓN EÓLICA+FOTOVOLTAICA VERSUS EL CONSUMO CON 15 PUNTOS DE RECARGA	41
ILUSTRACIÓN 26: PRODUCCIÓN MENSUAL DEL AEROGENERADOR ENAIR 200	42
ILUSTRACIÓN 27: PRODUCCIÓN ESTIMADA FOTOVOLTAICA SEGÚN PROGRAMA PVGIS PARA COMPENSAR LOS CONSUMOS.....	42

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 ÉOLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

ILUSTRACIÓN 28: ORGANIZACIÓN DE LOS MÓDULOS EN LA PARCELA DE ESTUDIO.....	45
ILUSTRACIÓN 29: COMPARACIÓN DE LA MÁXIMA CANTIDAD DE MÓDULOS SEGÚN LA CONFIGURACIÓN ESTABLECIDA.....	46
ILUSTRACIÓN 30: CONSUMO VS PRODUCCIÓN HÍBRIDA PARA 4 PUNTOS DE RECARGA SEGÚN LA PROPUESTA 2	47
ILUSTRACIÓN 31: CONSUMO VS PRODUCCIÓN HÍBRIDA PARA 9 PUNTOS DE RECARGA SEGÚN LA PROPUESTA 2	47
ILUSTRACIÓN 32: CONSUMO VS PRODUCCIÓN HÍBRIDA PARA 15 PUNTOS DE RECARGA SEGÚN LA PROPUESTA 2	48
ILUSTRACIÓN 33: PORCENTAJE DE APORTE DE ENERGÍA FRENTE AL CONSUMO CON 15 PUNTOS DE RECARGA	48
ILUSTRACIÓN 34: PROTOTIPO DE MARQUESINA DOBLE, VISTA DE PERFIL	50
ILUSTRACIÓN 35: PROTOTIPO DE MARQUESINA DOBLE, VISTA DE ALZADO	50
ILUSTRACIÓN 36: IMAGEN REAL DE MARQUESINAS DOBLES	51
ILUSTRACIÓN 37: PROTOTIPO DE MARQUESINA SIMPLE, VISTA DE PERFIL	52
ILUSTRACIÓN 38: PROTOTIPO DE MARQUESINA SIMPLE, VISTA DE ALZADO	52
ILUSTRACIÓN 39: IMAGEN REAL DE MARQUESINA SIMPLE.....	53
ILUSTRACIÓN 40: VALORES DE CARGAS SEGÚN TIPO DE CUBIERTAS PARA LAS SOBRECARGAS DE USO.....	54
ILUSTRACIÓN 41: PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO SEGÚN EL EMPLAZAMIENTO GEOGRÁFICO DE LA ZONA PENINSULAR	55
ILUSTRACIÓN 42: PARÁMETROS SEGÚN ASPEREZA DEL ENTORNO PARA EL COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN	55
ILUSTRACIÓN 43: COEFICIENTES PARA MARQUESINAS A UN AGUA	56
ILUSTRACIÓN 44: COEFICIENTES DE PRESIÓN SEGÚN EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA CUBIERTA, CONSIDERANDO FACTOR DE OBSTRUCCIÓN E [0,1]	57
ILUSTRACIÓN 45: COMBINACIONES DE ACCIONES SEGÚN EL TIPO DE CARGA APLICADA.....	58
ILUSTRACIÓN 46: COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD EN FUNCIÓN DE LAS ACCIONES VARIABLES.....	59
ILUSTRACIÓN 47: COEFICIENTES DE SEGURIDAD SEGÚN EL TIPO DE CARGA APLICADA.....	59
ILUSTRACIÓN 48: FACTOR DE DIMENSIONAMIENTO DE INVERSORES SEGÚN EMPLAZAMIENTO EN EUROPA	61
ILUSTRACIÓN 49: ACOPLAMIENTO CORRECTO ENTRE MÓDULOS E INVERSOR (FIGUERES, 2015, DIAPOSITIVA 16).....	62
ILUSTRACIÓN 50: DISEÑO LAYOUT DE LOS MÓDULOS Y SU DISTRIBUCIÓN SEGÚN TABLA 24	66
ILUSTRACIÓN 51: SECCIONES DE CABLE SEGÚN CRITERIO TÉRMICO (FIGUERES, 2015, DIAPOSITIVA 31)	68
ILUSTRACIÓN 52: DATOS DE CONDUCTIVIDAD DEL CABLE EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA (FIGUERES, 2015, DIAPOSITIVA 38)	69
ILUSTRACIÓN 53: SECCIONES DE CABLE SEGÚN TIPO DE INSTALACIÓN Y MATERIAL (FIGUERES, 2015, DIAPOSITIVA 36)	71
ILUSTRACIÓN 54: ILUSTRACIÓN FUSIBLE DE PROTECCIÓN DE STRINGS	74
ILUSTRACIÓN 55: ILUSTRACIÓN DEL INTERRUPTOR SECCIONADOR SELECCIONADO.....	75
ILUSTRACIÓN 56: IMAGEN DEL INTERRUPTOR SCHNEIDER ESCOGIDO	76
ILUSTRACIÓN 57: IMAGEN DEL INTERRUPTOR HAGER ESCOGIDO	77
ILUSTRACIÓN 58: IMAGEN DEL CONTACTOR ESCOGIDO	77
ILUSTRACIÓN 59: IMAGEN DEL RELÉ DE FRECUENCIA ESCOGIDO	78
ILUSTRACIÓN 60: IMAGEN DEL INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO ESCOGIDO.....	79
ILUSTRACIÓN 61: DISPOSITIVO SMART METER	79
ILUSTRACIÓN 62: EXPLOSIÓN DE LAS DIFERENTES PARTES DE UN AEROGENERADOR ESTÁNDAR	80
ILUSTRACIÓN 63: COEFICIENTE DE EMPUJE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	82
ILUSTRACIÓN 64: CLASE DE AEROGENERADOR SEGÚN LA NORMATIVA UNE-EN 61400-1	82
ILUSTRACIÓN 65: COEFICIENTE DE ARRASTRE EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS (MILLARES, SEPTIEMBRE DE 2017)	84
ILUSTRACIÓN 66: DISEÑO LAYOUT DEFINITIVO DE PRODUCCIÓN ÉOLICA-FOTOVOLTAICA.....	86
ILUSTRACIÓN 67: TABLA A-52-2 BIS (INTENSIDADES Y SECCIONES EN FUNCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE REFERENCIA).....	89
ILUSTRACIÓN 68: FICHA TÉCNICA DEL FUSIBLE DE PROTECCIÓN DE STRINGS SELECCIONADO	91
ILUSTRACIÓN 69: FICHA TÉCNICA DE LOS FUSIBLES SELECCIONADOS PARA PROTECCIÓN DEL CAMPO FOTOVOLTAICO	92
ILUSTRACIÓN 70: NUMERACIÓN DE LOS PUNTOS DE RECARGA EN LA ZONA DE ESTUDIO	93
ILUSTRACIÓN 71: TABLA A-52-2 BIS (INTENSIDADES Y SECCIONES EN FUNCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE REFERENCIA).....	94
ILUSTRACIÓN 72: IMAGEN DEL INTERRUPTOR HAGER ESCOGIDO	96
ILUSTRACIÓN 73: PANTALLA DE MONITORIZACIÓN DEL FABRICANTE SOLAX	100

ABREVIATURAS

kWh: kilowatios por hora

kW: kilowatio

A: anchura

L: longitud

Nº: número

m²: metros cuadrados

km: kilómetro

h: hora

VAN: valor actual neto

TIR: tasa interna de retorno

Payback: periodo de retorno

FV: fotovoltaica

kWp: kilowatios hora pico

kN/m²: kilonewton por metro cuadrado

kg: kilogramos

q_k: carga uniformemente distribuida

Q_k: carga concentrada

q_e: carga total debida al viento

q_b: presión dinámica del viento

C_e: coeficiente de exposición

C_p: coeficiente eólico externo

ε: deformación longitudinal

F_s: factor de dimensionamiento del inversor

P_{dc_max}: potencia del inversor máxima en corriente continua (W)

P_{gfv_mpp_stc}: potencia de pico del generador fotovoltaico (Wp)

G_{max}: ganancia máxima de potencia por metro cuadrado (kW/m²)

T_{max}: temperatura máxima (°C)

T_{amb_max}: temperatura ambiente máxima (°C)

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tmin: temperatura mínima

NOTC: *nominal operating cell temperature*

Vmod_oc (Gstc,Tmin): tensión en circuito abierto en condiciones estándar de medida (CEM) (V)

β_v : coeficiente de temperatura-tensión [V/°C]

Vmod_mpp_stc: tensión MPP en CEM (V)

MPPT: *maximum power point tracking*

V_mppt_min: tensión mppt mínima

Vdc_max: tensión máxima en corriente continua

Ns: número de módulos en serie

Np: número de módulos en paralelo (string)

Nmod: número total de módulos

Pgfv: potencia total del campo fotovoltaico (Kw)

Vgfv_mpp_stc: tensión de los módulos por string en condiciones estándar (STC) (V)

Vgfv_min: tensión de los módulos por string en condiciones de temperatura máxima (V)

Vgfv_max: tensión de los módulos por string en condiciones de circuito abierto (V)

Igfv_max: corriente de los módulos en condiciones de cortocircuito (A)

Idc_max: corriente del módulo máxima permitida en corriente continua (A)

Imod_sc (Tmax): corriente del módulo en cortocircuito en condiciones de temperatura máxima (A)

α : coeficiente de temperatura-corriente [A/°C]

Icab_string: intensidad máxima admisible en cables eléctricos para conexionado de paneles fotovoltaicos (A)

Imod_mpp: corriente del módulo máxima (A)

I_mod_sc_stc: corriente de cortocircuito del módulo(A)

Sstring: sección del string (mm²)

Lstring: longitud del string (m)

ΔV_{string} : caída de tensión admisible por string

σ (Tmax): conductividad del cable [$\Omega^{-1}m/mm^2$]

Vg $\phi\phi$: tensión de red trifásica (V)

Ig_rsmn: corriente nominal del inversor (A)

Lca: longitud del cable corriente alterna (m)

Icab_ca: intensidad admisible del cable a temperatura de 40°C al aire

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

ΔV_{ca} : caída de tensión admisible en el cable de corriente alterna

S_{ca} : sección del cable en corriente alterna (mm^2)

$I_{mod_max_inversa}$: corriente máxima del módulo admisible en sentido inverso (A)

$I_{fusible_n}$: corriente de actuación del fusible (A)

$V_{fusible_n}$: tensión de protección del fusible (V)

V_{gf_voc} : tensión de circuito abierto del módulo (V)

$I_{gfv_m_stc}$: corriente del módulo máxima para cada string (A)

P_{string} : pérdidas por string (W)

g : constante de la gravedad (m/s^2)

ρ : densidad del aire (kg/m^3)

$m_{g\acute{o}ndola}$: masa de la góndola (kg)

π : pi

h : altura de la torre (m)

V_{torre} : volumen de la torre (m^3)

e_t : espesor del acero en la parte superior de la torre (mm)

r : radio de la parte superior de la torre (mm)

R : radio de la base (mm)

e_b : espesor del acero en la base (mm)

F_{rotor} : carga ejercida por el rotor (N)

V^2 : velocidad del viento (m/s)

A_{rotor} : área del rotor (m^2)

C_e : coeficiente de empuje del viento sobre las palas

Ω : velocidad angular del rotor (rad/s)

R_{rotor} : radio del rotor (m)

F_{torre} : carga ejercida sobre la torre (N)

D : diámetro (m)

C_d : coeficiente de arrastre

Z : altura (m)

D_{base} : diámetro de la base (mm)

$D_{superior}$: diámetro de la parte superior de la torre (mm)

Re: número de Reynolds

N: carga axil (N)

Q: carga cortante (N)

M: momento flector (N.m)

Pgóndola: peso de la góndola (N)

Ptorre: peso de la torre (N)

Isc: corriente de cortocircuito del aerogenerador (A)

Ib: corriente de diseño

Voc: tensión de circuito abierto del aerogenerador (V)

REBT: reglamento electrotécnico para baja tensión

A: amperios

m/s: metros por segundo

mm: milímetros

CC: corriente continua

AC: corriente alterna

UV: ultravioleta

PVC: policloruro de vinilo

UNE: Una Norma Española

Um: tensión nominal

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Uso de pérgolas fotovoltaicas para generación de energía

La tecnología fotovoltaica es una de las más eficientes para la obtención de electricidad a través de la energía emitida por el Sol. Esta tecnología data sus orígenes a finales del siglo 19 cuando el físico alemán Charles Fritts creó un dispositivo que, mediante capas finas de selenio, consiguió absorber luz solar convirtiéndola en energía eléctrica. Científicos reconocidos como Calvin Fuller, Darlyn Chapin o incluso Albert Einstein, fueron también precursores del uso de esta tecnología años posteriores. (Factor de energía, 2023).

Décadas después, el uso de estos dispositivos fue abarcando cada vez más campos de aplicaciones, siendo el entorno industrial el más habitual, haciendo uso de los llamados huertos solares, o las mismas cubiertas de las empresas que hacían uso de ella.

Una aplicación no tan habitual, pero que cada vez tiene más auge, es el uso de marquesinas incorporando los módulos fotovoltaicos para diferentes tipos de aprovechamiento, siendo el de uso de estos como punto de recarga para vehículos eléctricos o híbridos enchufables el que más destaca.

Estos se pueden usar como dominio privado (para autoconsumo en viviendas particulares), o como dominio público (en zonas de aparcamiento habilitadas) y es, en este punto, donde las compañías buscan la innovación y las mejoras de diseño para optimizar la estructura y obtención de energía. Es el caso de la empresa *Alukov*, la cual ha diseñado una pérgola solar que lleva incorporada un sistema de recuperación de agua de lluvia. (EcoInventos, 2024).

Sin embargo, también puede ser destinado para alimentar energéticamente a otros tipos de edificios, como es el caso del colegio municipal de Benimaclet (Valencia), el cual instalará una pérgola fotovoltaica que generará casi 48000 kWh al año, lo que supone la mitad de la demanda eléctrica del colegio consiguiendo así, un ahorro energético en la factura de la luz y una concienciación medioambiental. (Reig, 2023).

Países como Alemania y Estados Unidos también tienen un alto enfoque en el uso de las pérgolas solares y estas siguen siendo producto de grandes avances tecnológicos y tendencias de diseño.

1.1.2 Aerogeneradores de autoconsumo

Así como ocurría con la energía fotovoltaica, el uso de aerogeneradores data también de cientos de años, más en concreto del 1887 en el que el científico estadounidense Charles F. Brush, diseñó y construyó la primera turbina eólica para generación de electricidad. (Barrientos Díaz, 2019).

Actualmente, estos aerogeneradores se pueden encontrar instalados por todo el mundo, tanto en tierra como en mar (*offshore*) y goza de gran importancia como una de las principales fuentes de energías renovables.

Estos dispositivos, al igual que las pérgolas fotovoltaicas han ido variando sus diseños y destinos de aplicación y es, en este punto, donde el uso de aerogeneradores destinados al autoconsumo entra en juego.

Estos tienen una potencia que suele rondar los 50 kW, los cuales se destinan para viviendas individuales, pequeñas comunidades o negocios.

Además, se pueden instalar en combinación con las placas solares, aprovechando el uso simultáneo de ambas o para garantizar un suministro continuo de energía cuando la luz emitida por el Sol o el viento disminuya. Es el caso de la compañía Enair, que realizó en la Universidad Católica de Murcia, un

proyecto de combinación de energía proveniente del Sol con aerogeneradores obteniendo casi 18 kWh diarios. (BBVA, 2024)

2. MOTIVACIÓN

Desde el departamento de Ingeniería Electrónica de la Universitat Politècnica de València (UPV), se está centrando en la búsqueda de nuevos métodos de ahorro y consumo eléctrico basados fundamentalmente en el uso de energías renovables no perjudiciales para el medio ambiente.

Es en punto, donde la instalación de pérgolas fotovoltaicas cobra una gran importancia ya que, haciendo uso de espacios amplios como zonas de aparcamiento, se puede conseguir altas tasas de producción de energía eléctrica que puede ser destinada a la carga de vehículos eléctricos o en su caso, como excedentes al resto de instalaciones. Esta energía, además, sería reforzada con la energía eólica en forma de aerogeneradores de reducidas dimensiones que supusiera un apoyo en tramos del año donde la energía fotovoltaica no fuese suficiente.

La motivación de este proyecto persigue comprobar la efectividad de estas energías realizando la comprobación de que su producción energética es más que suficiente para sufragar las demandas de los puntos de recarga.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este documento es la definición de las propiedades y características de todos los elementos que son necesarios para conformar la instalación, así como la valoración económica del proyecto.

Para la consecución de dicho objetivo, se siguieron una serie de objetivos secundarios:

- Analizar la ubicación de estudio teniendo en cuenta factores como la orientación, el área, etc.
- Análisis del consumo por punto de recarga.
- Conteo del número total de módulos y aerogeneradores posibles a instalar en la zona de estudio, determinando la potencia total generada.
- Selección de inversores, marquesinas, cargadores necesarios.
- Confección del presupuesto y planos para visualización detallada de la instalación.

4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

La planificación llevada a cabo para la elaboración del proyecto se divide en dos esquemas, establecidos por etapas:



Ilustración 1: Planificación del prediseño

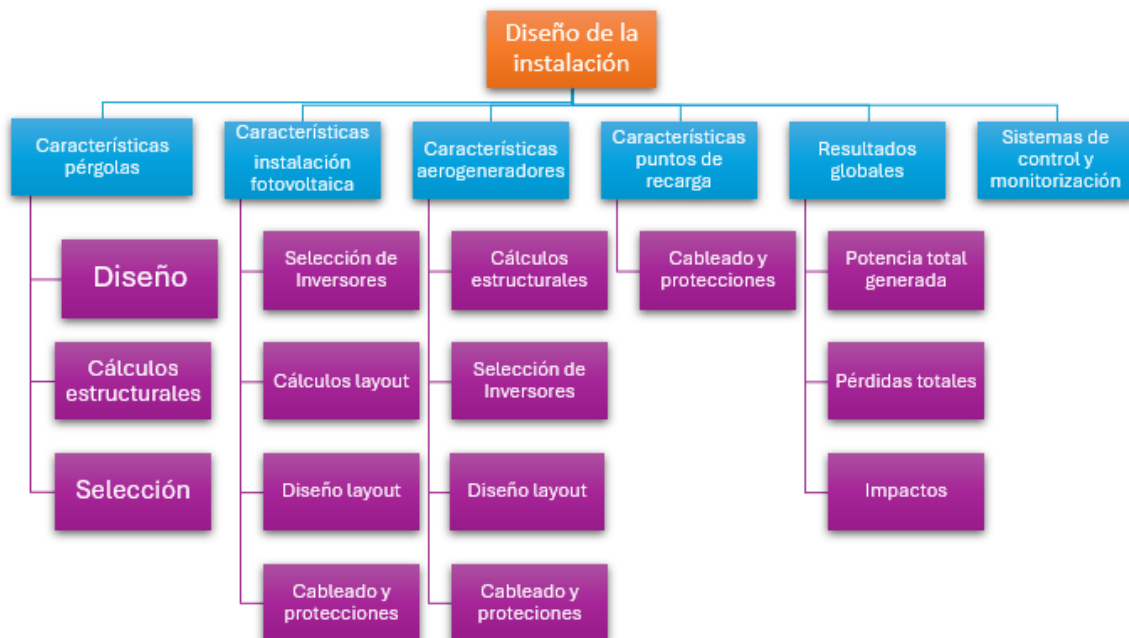


Ilustración 2: Planificación del diseño de la instalación

5. ANÁLISIS PREVIO: PREDISEÑO

5.1 Características globales de la instalación

5.1.1 Ubicación, Superficie y distribución

La universidad se ubica en la *Carretera de Valldemossa, km. 7.5 Norte, 07122 Palma de Mallorca, Illes Balears*.

Fundada el 15 de marzo de 1978, se estima una superficie general en torno a los 470000 m². (Wikipedia, 2024).

La zona de estudio para el proyecto se ubica al ala oeste de la misma. Se trata de una zona destinada al aparcamiento de vehículos utilitarios. La ubicación se muestra en la ilustración 3:



Ilustración 3: ubicación de la zona de estudio

Esta zona tiene una orientación 39ºNorte, 2º Este con un área total de **20894.15 m²**. Además, goza de una gran superficie de aparcamiento distribuida en 20 filas diferenciadas a su vez, en **seis** tipologías distintas basados en la superficie de cada fila, tal y como se muestra a continuación:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

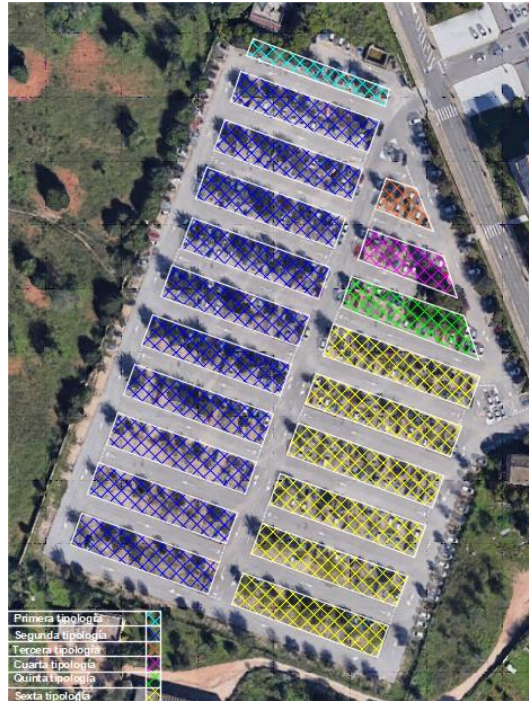


Ilustración 4: distribución de las tipologías de aparcamiento

Por lo tanto, se muestra en la tabla 1 los datos recogidos en función de la anchura y longitud de cada tipología:

Tabla 1: dimensiones de las tipologías de aparcamiento

Tipologías	Anchura (m)	Longitud (m)	Área (m ²)
Primera	5.68	47.66	270.7088
Segunda (x10)	10.85	47.38	514.073 (5140.73)
Sexta (x6)	10.85	50	542.5 (3255)

Dado que el resto de las tipologías tienen forma de trapecios, se calcula como tal en una tabla a parte (tabla 2):

Tabla 2: dimensiones de las tipologías de aparcamiento (trapecios)

Tipologías	Anchura (m)	Base menor (m)	Base mayor (m)	Área (m ²)
Tercera	10.85	10	19.93	162.37025
Cuarta	10.85	25.49	35.42	330.43675
Quinta	10.85	39.88	48.26	478.1595

El sumatorio resulta en una superficie disponible de 9637.4053 m², es decir se obtiene un aprovechamiento superficial del 46.12% del total.

5.2 Estudio del consumo por plazos de ocupación

En primer lugar, y tras el análisis de la superficie de análisis, se procede a la realización del estudio del consumo que supondría la instalación de los puntos de carga en función del porcentaje de ocupación de las plazas destinadas a la carga de los vehículos eléctricos.

Por ello, se realizarán tres estudios; uno a corto plazo (2-3 años tras la finalización de la instalación), otro a medio plazo (5-6 años posteriores) y finalmente, a largo plazo (12 años).

El porcentaje de ocupación se va a basar los siguientes puntos:

- Según un estudio realizado por la web Statista, marca un número concreto de matriculaciones de turismos impulsados por energía eléctrica durante el año 2023 (125.681), a los cuales sumando el resto de las matriculaciones hasta el año 2013, se tienen un número total de 378.676 de vehículos. (Orús, 2024).
De la misma forma, indica el *Blog de EDP*, que marca un resultado similar de 325.675 vehículos. (EdpBlog, 2023).
A su vez, el porcentaje de eléctricos en función del total de matriculados en 2023 se reduce a alrededor del 5%. (Martín, Saco, 2023).
- De la misma manera, según un estudio del Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible para el año 2022, las Islas Baleares tenía un parque total de 751.175 de vehículos, de los cuales 6.178 son los turismos que no son propulsados por combustión. (Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior, 2023). En adición, la tasa de matriculación de turismos eléctricos durante el año 2023 en Mallorca fue del 5.6%. (Serra,2023).
- Se tendrá en cuenta la capacidad media de una batería de vehículo eléctrico, su consumo promedio, número de horas de consumo y las diferentes tipologías de conectores de cargadores disponibles en el mercado. Una vez determinado el consumo anual, se evaluará el uso de energía eólica para sufragar o no la insuficiencia de producción por parte de la energía fotovoltaica.
 - Así, según la RACE, la capacidad media de vehículos eléctricos puros utilitarios ronda los 40 kWh, teniendo un consumo promedio (normal) de 16 a 18 kWh/100 km. (Real Automóvil Club de España [RACE], 2022). Este factor puede ser importante para determinar cada cuánto tiempo un usuario que vive a 20 km por ejemplo de la universidad, tendría que hacer uso del punto de recarga: asumiendo que, cada 200 km tendría que volver a recargar, se traduciría en unos 5 días.
- Aunque las matriculaciones de vehículos siguen incrementándose año a año, la incentivación para la compra sigue siendo reducida, lo que implica que no se pueden asumir porcentajes de ocupación elevados a corto y medio plazo.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- Con estos datos, se puede asumir un porcentaje de ocupación del 20% para corto plazo; 50% para medio plazo; y 80% para largo plazo.

Otro término interesante es el número de horas de consumo por usuario a la hora de cargar su vehículo: si se supone que el usuario llega a la zona y deja cargando el coche toda su jornada laboral, se puede suponer un consumo diario de 8 a 10 horas diarias.

Finalmente cabe tener en cuenta los denominados factores reductores para el consumo, el cual tiene en cuenta las siguientes circunstancias particulares:

- El usuario no haga uso de las 10h continuas porque no le sea necesario, o debido a ausencias laborales de carácter concreto, ya sean percances, indisposiciones, etc.
- El vehículo plenamente cargado, no sea retirado inmediatamente tras su carga completa, pudiéndose alargar esta situación a minutos/horas en los que el consumo sería nulo.
- En relación con los porcentajes de ocupación deducidos anteriormente, cabe añadir que, aunque la evolución en la compra de los coches eléctricos cada vez sigue aumentando, los porcentajes de matriculaciones siguen siendo bajos en comparación al conjunto general de vehículos. El uso de los cargadores a corto/medio plazo no puede darse como garantizado.
- En situaciones normales los cargadores no están funcionando a plena potencia, sino que son capaces de regular la potencia emitida mediante la carga lenta.
- Cabe tener en cuenta que, en los meses de verano, el consumo desciende por motivos de vacaciones: en la segunda mitad del mes de julio, los alumnos han acabado el curso, mientras que, en agosto, la universidad cierra. Es necesario pues, tener en cuenta número de alumnos/trabajadores/personal de seguridad en la universidad para determinar los coeficientes reductores específicos para verano. (Universitat de les Illes Balears [UIB], s.f.).
 - Así pues, el coeficiente para julio será el obtenido de dividir el número de profesores con el personal de vigilancia entre el número de personas totales de la universidad obteniendo un coeficiente de 0.140, mientras que, para el mes de agosto, será el cociente entre el número de personal de vigilancia entre el número de personas totales, obteniendo 0.003.
- Número de días por mes laborables en la Isla de Palma de Mallorca. (Govern de les Illes Balears, s.f.)
- Con todo ello, se estima un coeficiente general de consumo de valor 0.25 para corto plazo; 0.35 para medio plazo; y 0.45 para largo plazo.
- Se asume una tasa de ocupación creciente para los puntos de recarga.
- El cálculo del consumo se realizará de la siguiente manera:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Consumo (kWh)

$$= N^{\circ} \text{ cargadores} * \text{Potencia (kW)} * \text{Horas laborables(h)} \\ * \text{Coef. reductores (Ec. 1)}$$

Por otra parte, para determinar el número de plazas totales en la zona de estudio, se hace uso del programa AutoCAD, teniendo en cuenta que, por normativa del ayuntamiento de Palma, se exigen unas dimensiones de plazas de 2.20x 4.30m en disposición de batería (ilustración 5) (Ajuntament de Palma, 2002):

Artículo 2. Disposiciones de las plazas.

a) El diseño del aparcamiento se realizará de forma tal que permita evacuar cualquier vehículo aparcado con un máximo de tres maniobras o movimientos.

b) En batería. Se considerará que una plaza está en batería cuando el ángulo que forma el eje de la misma con el carril de maniobra sea igual o superior a sesenta grados sexagesimales (60°).

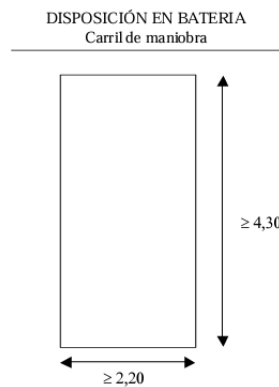


Ilustración 5: dimensiones de las plazas de aparcamiento según la ordenanza municipal del ayto. de Palma de Mallorca

Por estar al lado de la seguridad, se asumirán valores de 2.50x5 m por cada plaza.

Además, según el Real Decreto 29/2021, se establece la obligatoriedad de instalar al menos un punto de recarga en los estacionamientos no residenciales cada 40 plazas. (PoliCharger, 2024). De esta forma, considerando la zona previamente estudiada se obtiene un boceto de la zona de estudio distribuido por plazas de aparcamiento, reflejada en la ilustración 6:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS



Ilustración 6: distribución de las plazas de aparcamiento en la zona de estudio

El número de plazas por cada tipología se muestra abajo en la tabla 3:

Tabla 3: número de plazas de aparcamiento por tipologías

Tipologías	Nº de plazas de aparcamiento
Primera	19
Segunda (x10)	380
Tercera	10
Cuarta	21
Quinta	31
Sexta (x6)	240
TOTAL	701

Por tanto, teniendo en cuenta la normativa antes comentada del número de plazas destinada a punto de recarga, se obtiene 17.52 plazas, redondeando a la mayor; **18 plazas para carga.**

5.2.1 Selección de los cargadores

Una vez obtenidas el número de plazas, es conveniente determinar qué tipo de cargadores se usarán en la instalación. Por ello y gracias a la información proporcionada por la página *web de Repsol y RACE*,

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

existen hasta cinco tipos de conectores de cargadores en función de la velocidad de carga: Schuko, Tipo 1 (Yazaki), Tipo 2 (Mennekes), Tipo 3 (Scame), Tipo 4 (CHAdeMO) y Conector CCS. (Real Automóvil Club de España [RACE], 2022).

En el caso que concierne, se hará uso de los cargadores típicos en España para la carga de vehículos eléctricos: los de Tipo 2 (Mennekes) cuya potencia admitida máxima está entre los 3.7 y 44 kW. En este caso se hará uso de los cargadores más típicos para carga de vehículos: 22 kW. (Repsol, s.f.)

En el mercado, se encuentran una gran variedad de fabricantes de cargadores de vehículos eléctricos:

Tabla 4: selección de fabricantes de cargadores para vehículos eléctricos

Fabricante	Modelo	Potencia (kW)	Conector	Frecuencia (Hz)	Precio (€)
Circuitor	URBAN T22	22	Tipo 2	50/60	4483.05
Simon	NEON	22	Tipo 2	50	4196.14
LugEnergy	POLE 1	22	Tipo 2	50	2541

Por tanto, visualizando la tabla, aunque todos mantengan las mismas características, se puede observar que es el fabricante LugEnergy, el que tiene los precios más económicos. Por ello, se elige a este fabricante como proveedor de los cargadores.

Con todo ello, se está en condiciones para determinar los consumos por plazos de ocupación.

5.2.2 Estudio a corto plazo

A corto plazo y teniendo en cuenta las condiciones comentadas anteriormente, se asumía un porcentaje del 20% de plazas ocupadas en la zona (18), lo que se traduce en $3.6 \approx 4$ plazas para consumo:



Ilustración 7: número de plazas para cargadores a corto plazo

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Estas cuatro zonas de recarga suponen la instalación de cuatro cargadores que se encarguen de suministrar la energía necesaria a aquellos usuarios que coloquen su vehículo en la zona.

El consumo mensual en función del uso de estos cuatro cargadores se muestra en la ilustración 8:

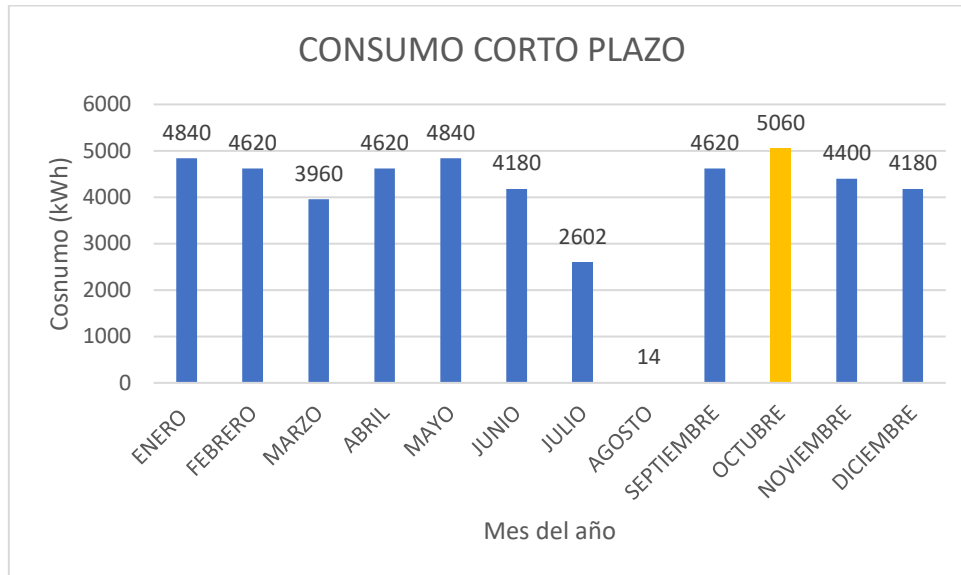


Ilustración 8: consumo mensual de los cargadores a corto plazo

Los datos más elevados de consumo se producen en el mes de octubre con valores que superan los 5000 kWh/mes. Tal y como se esperaba, se observa un descenso del consumo en la época de verano, siendo el dato más llamativo en el mes de agosto.

Por su parte otros gráficos interesantes, son los consumos en función de la estación del año, mostrados en la ilustración 9 (comentar que, para la obtención de la gráfica, es necesario obtener el número de días de cada estación del año) (Calendarr, s.f.):

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

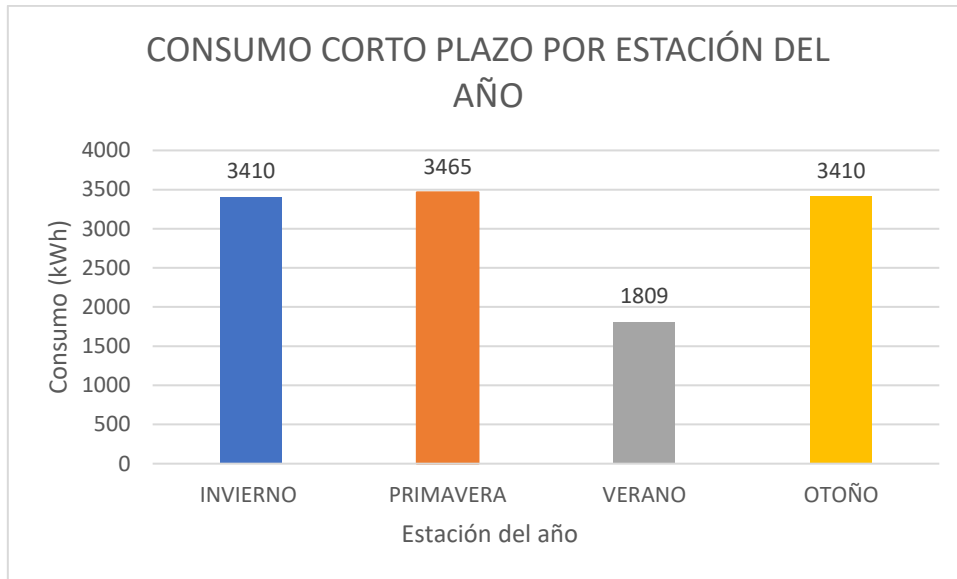


Ilustración 9: consumo por estación del año a corto plazo

Se observa como los consumos son similares a lo largo del año, exceptuando evidentemente en verano.

5.2.2 Estudio a medio plazo

De la misma manera que se ha realizado en el apartado anterior, se va a asumir una ocupación del 50% de las plazas en el plazo de 5-6 años transcurridos tras la instalación.

Por tanto, el número de plazas a ocupar será ahora de 9:

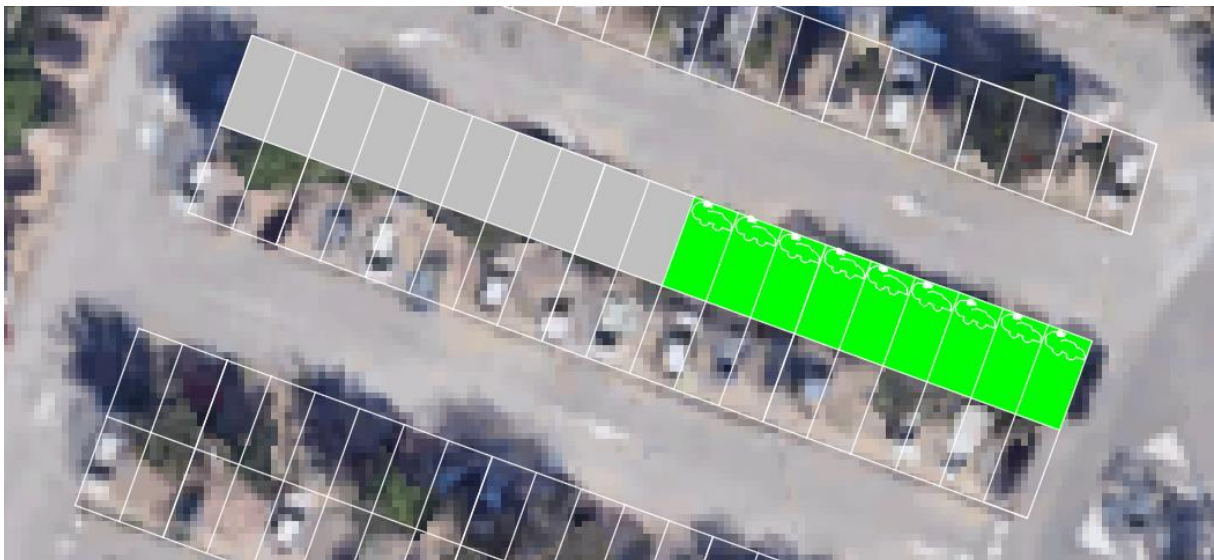


Ilustración 10: número de plazas para cargadores a medio plazo

El consumo en este plazo se muestra en la ilustración 11:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

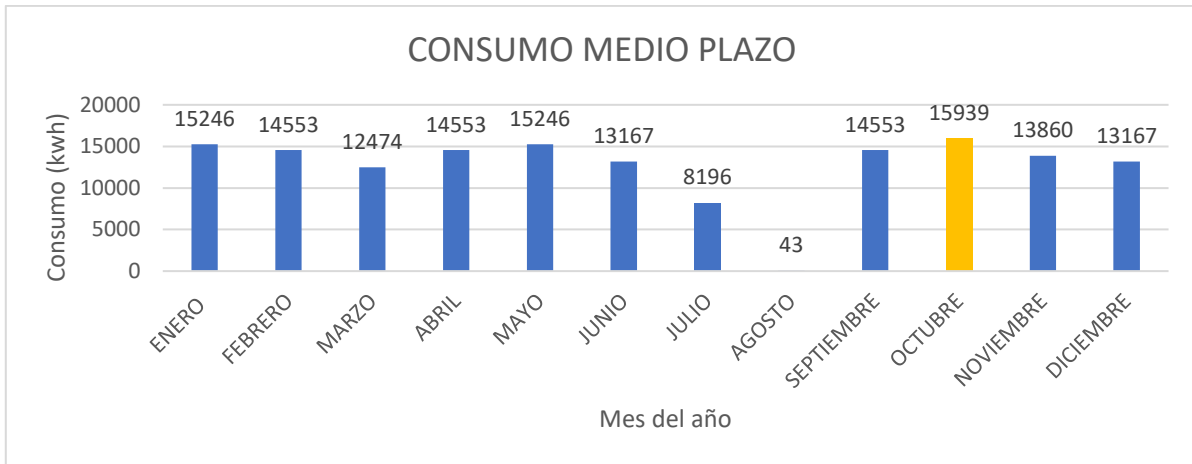


Ilustración 11: consumo mensual de los cargadores a medio plazo

Los datos más destacados de consumo se vuelven a producir en el mes de octubre, esta vez con consumos cercanos a los 16000 kWh/mes, aunque se destaca que, meses como enero, mayo, tienen consumos similares al de octubre.

El gráfico de consumo en función de la estación del año se muestra en la ilustración 12:

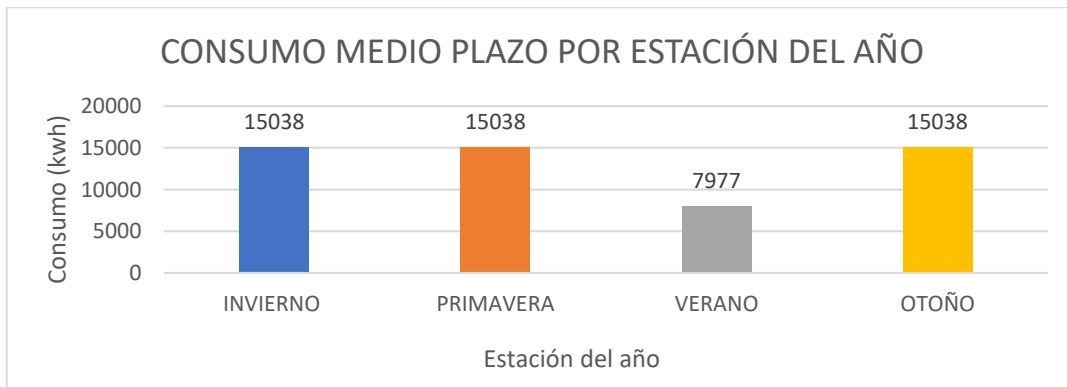


Ilustración 12: consumo por estación del año a medio plazo

De nuevo, se obtiene resultados similares a lo largo del año, a excepción de verano.

5.2.3 Estudio a largo plazo

Por último, para el largo plazo (alrededor de 12 años transcurridos), se asume una tasa de ocupación del 80%, lo que se traduce en $14.4 \approx 15$ plazas:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

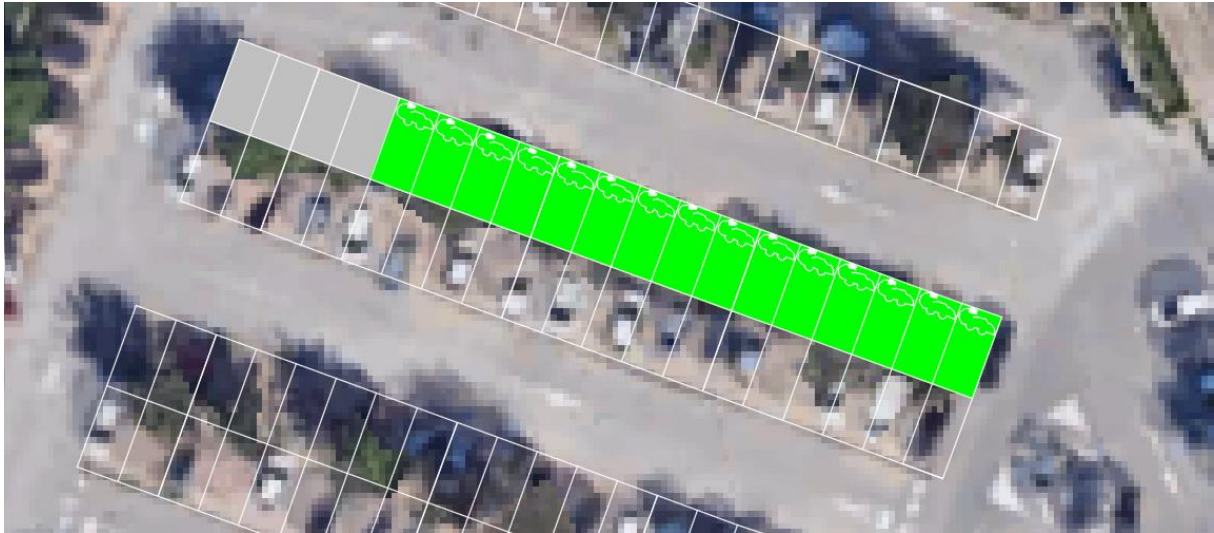


Ilustración 13: número de plazas para cargadores a largo plazo

El consumo en este plazo se muestra en la ilustración 14:



Ilustración 14: consumo mensual de los cargadores a largo plazo

El consumo mayoritario se produce en el mes de octubre con consumos que superan los 34000 kWh/mes.

Y para el gráfico en función de la estación del año:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

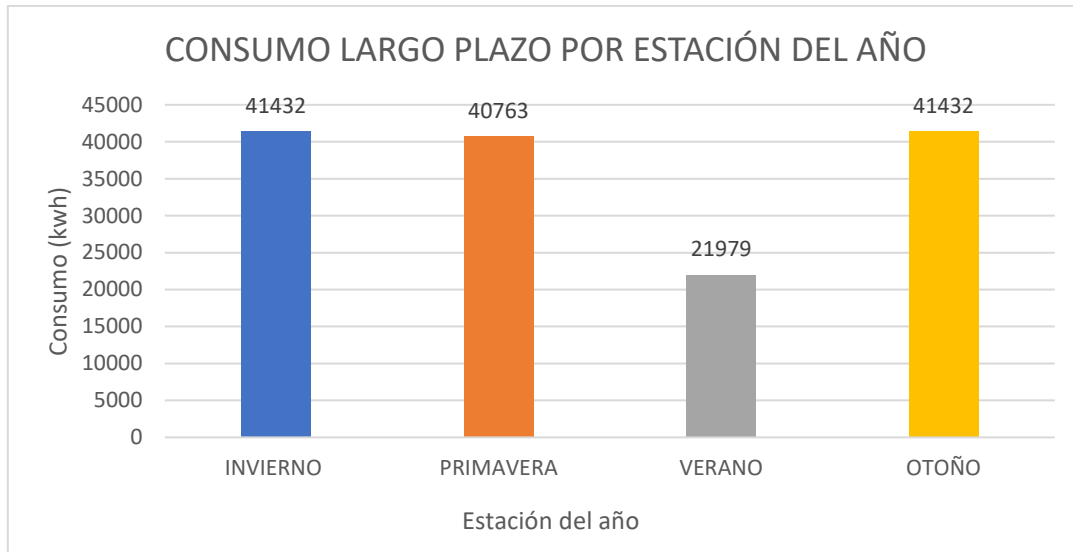


Ilustración 15: consumo por estación del año a largo plazo

Ocurre la misma casuística que en los casos anteriores.

Por tanto, tras la obtención de las gráficas de consumos, se puede asumir que, durante todo el año, a excepción de verano, los porcentajes de consumos son elevados, lo cual a priori no es ventajoso, ya que los paneles obtienen mayores tasas de producción durante los meses precisamente de verano, coincidiendo con la época de mayor radiación solar. Es por esto por lo que será necesario realizar un estudio de la producción y evaluar las diferentes posibilidades de generación fotovoltaica-eólica para compensar los consumos mostrados anteriormente.

5.2.4 Estudio de la rentabilidad económica de la instalación

Previo al estudio de la producción general de la instalación es necesario realizar un estudio de la rentabilidad económica de la instalación, el cual se va a enfocar directamente en función de tres escenarios: pesimista, estándar y optimista.

Se entiende por escenario pesimista, aquel en el que las subvenciones sean menores de las estipuladas junto con el hecho de que no se espere que se cumplan las previsiones al alza de matriculaciones de vehículos eléctricos y por lo tanto, que se instale menor número de puntos de recarga (4)¹; normal, en el que sí se cumplan las subvenciones y las matriculaciones sean las estipuladas y por lo tanto se instalen 9 puntos de recarga; y optimista, en el que el porcentaje de subvenciones destinados sea superior y, además, que las matriculaciones sean también superiores a las predichas, y por ello se instalen los 15 puntos de recarga.

A continuación, se muestran algunas observaciones previas al estudio que caben tenerlas también en cuenta:

- Según fuentes baleares, del presupuesto total de la universidad para el año 2024 (171.9 millones de euros), se va a invertir 13.3 millones en concepto de transformación energética (Europa press, 2023).

¹ Por simplicidad, se decide escoger el mismo número de puntos de recarga que los obtenidos en los periodos de plazos de consumos.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- Las inversiones iniciales están en función del número de puntos de recarga instalados. En el documento 2 (Estudio económico), se indica el presupuesto en función del escenario óptimo.
- El periodo de revisión y mantenimiento de la instalación se considera cada 4 meses.
- Se establece un periodo de tiempo de estudio de 5 años.
- Se considera una tasa de descuento del 6%.
- El precio de la energía está actualmente alrededor de los 0.05€/kWh. A este precio se le va a aplicar una subida anual debido a la inflación del 2%.

Todo lo anterior e información adicional queda reflejada en la tabla siguiente:

Tabla 5: información adicional previa al estudio de la rentabilidad

Escenario	Pesimista	Normal	Optimista
Inversión inicial	2298506.71	2316800.63	2338753.35
Porcentaje de subvención concedido	60%	75%	95%
Estimación de la matriculación	Menor de la esperada (4 puntos de recarga)	La esperada (9 puntos de recarga)	Mayor de la esperada (15 puntos de recarga)
Consumo (kWh)	47935.72	150997.5	323566.1

Teniendo lo anterior en cuenta, se puede obtener la curva de evolución del VAN para cada escenario, así como el TIR y periodo de recuperación o *payback*:

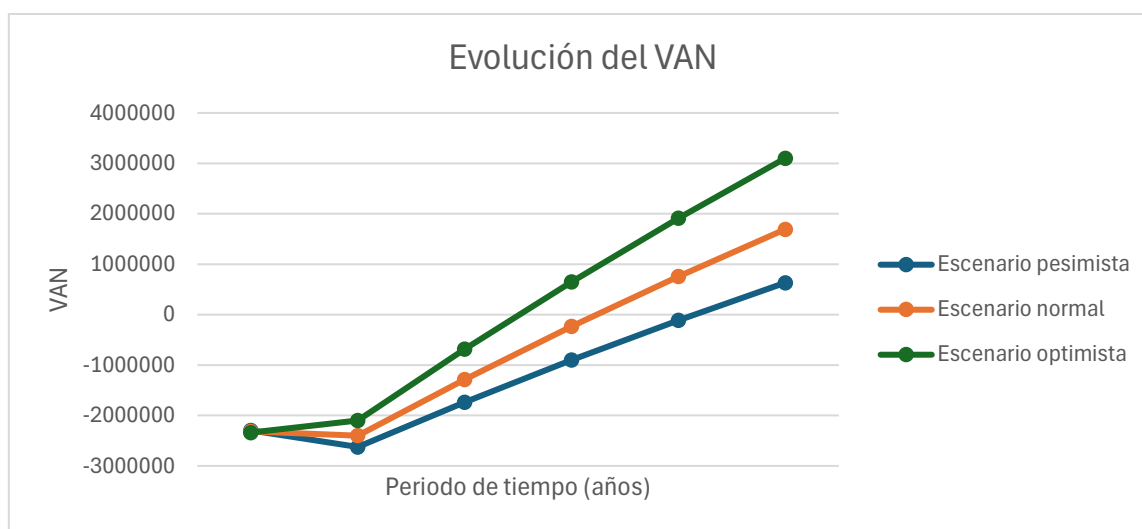


Ilustración 16: evolución del VAN para cada escenario

Se observa que el escenario optimista es el más prometedor en cuanto al VAN, con un valor de 3102683 € al cabo de los 5 años.

El resto de información aparece reflejada en la siguiente tabla:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 6: tabla resumen del VAN, TIR y Payback para cada escenario

Escenario	Pesimista	Normal	Optimista
VAN	632974	1693855	3102683
TIR	13.3%	24.6%	38.8%
Payback	5 años	4 años	3 años

Se observa que el escenario optimista es el óptimo, con un TIR positivo cercano al 39% y un periodo de retorno de 3 años. Es por ello por lo que, la parte restante del prediseño se basará teniendo en cuenta el consumo con los 15 puntos de recarga.

5.3 Estudio de la producción: Obtención del número de módulos y pérgolas

Una vez obtenido el consumo en función de los plazos de ocupación y el estudio de la rentabilidad, se ha de determinar la cantidad de módulos y por lo tanto de pérgolas que serán necesarios para compensar dicho consumo. Para ello, se seleccionará primeramente el fabricante idóneo de módulos.

5.3.1 Selección de los paneles fotovoltaicos

Para la elección de los paneles, se ha de determinar previamente una serie de factores a comentar a continuación.

En primer lugar, cabe comentar el tipo de **tecnología** a emplear, mostrada en la ilustración 17 (Figueres, 2015, diapositiva 9):

TECNOLOGÍA	SUPERFICIE (m ²)
Silicio monocristalino	20
Silicio policristalino	27
Diselenuro de cobre e indio (CIS)	32
Teluro de cadmio (CdTe)	40

Ilustración 17: listado de las principales tipologías de los módulos fotovoltaicos

Como se puede observar, suponiendo una potencia base de 1 kWp, es el silicio monocristalino, el que necesita menor área para la obtención de la potencia indicada.

De la misma manera, es necesario realizar una búsqueda de los principales **fabricantes** de módulos a nivel mundial, y tras la consulta en diferentes fuentes de información como *TechnoSun*, *El Almacén Fotovoltaico*, se obtiene el llamado *Tier 1*, es decir, un listado en el que se hallan aquellos fabricantes que se encuentran en la clasificación realizada por *Bloomberg New Energy Finance Corporation (BNEF)*, la cual está basada en la credibilidad bancaria y/o estabilidad financiera de las empresas (Techno Sun, junio de 2022):

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Trina	Seraphim	LONGi	Jinergy
SunPower/Maxeon	Jinko	Meyer Burger	DMEGC
HT-SAAE	Jollywood	UREC	Leapton
Canadian Solar	ZNShine	AE Solar	S-Energy
Phono Solar	VSUN Solar	Astronergy	Recom
Risen	ET Solar	Waaree	Philadelphia Solar
QCells	JA Solar	Hansol Technics	Renesola Yixing
Suntech	Jetion	Adani	Sharp
First Solar	Vikram Solar	Boviet	Swelect
Talesun	Eging	Haitai	CECEP
AU Optronics	Beyond Sun	BYD	Hanwha
Dehui	Goldi Solar	GCL System	Hevel
Hyundai	LG Solar	Motech	Neo Solar Power
REC Group	Renewsys	Shinsung	Solargiga
Sunport	Tongwei	TSEC	Ulica Solar
Yingli Silfab	AKCOME	CGS	Green Wing
Heliene	HuaSun	Exiom Group	New East Solar Energy

Ilustración 18: Tier 1 de fabricantes de módulos fotovoltaicos

La lista sugiere gran variedad de fabricantes, por ello, es necesario la elaboración de una tabla comparativa entre algunos de ellos para escoger el idóneo en función de una potencia de 500W por módulo:

Tabla 7: selección de fabricantes de módulos fotovoltaicos

Fabricante	Fiabilidad	Precio (€)	Nº Células	Eficiencia (%)	Años garantía potencia lineal (-)
LongiSolar	Buena	138	144	21.3	25
Jinko Solar	Buena	169	144	21.29	30
TrinaSolar	Buena	127.48	150	21.2	25

Tal y como se puede observar, las compañías efectivamente son punteras en su sector, sin embargo, se puede destacar que el candidato TrinaSolar, aunque disponga de una menor eficiencia, compensa por el hecho de presentar el mayor número de células, 25 años de garantía de potencia lineal y todo

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

ello junto con el precio más reducido de los tres. Por ello, se escogerá dicho fabricante para la selección del módulo.

A continuación, se muestran características técnicas del modelo del módulo del fabricante (TSM-DE18M(II)):

Tabla 8: características técnicas del módulo TrinaSolar TSM-DE18M(II)

Datos eléctricos		Datos mecánicos	
Potencia máxima pico (Wp)	500	Células solares	Monocrystalinas
Tolerancia de potencia (W)	+ - 5	Dimensiones (mm)	2187x1102x35
Tensión máxima (V)	42.8	Peso (kg)	26.5
Corriente máxima (A)	11.69	Datos térmicos	
Tensión de circuito abierto (V)	51.7	NOCT (°C)	43
Corriente de cortocircuito (A)	12.28	Coefficiente de temperatura-tensión (%/°C)	-0.25
Eficiencia del módulo (%)	20.7	Coefficiente de temperatura-corriente (%/°C)	0.04

Previo al estudio de la producción, es importante tener en cuenta el ángulo óptimo de inclinación y de azimut que deben tener los módulos para la obtención del máximo rendimiento. Este factor depende del emplazamiento, de la latitud, entre otros. Por ello, haciendo uso de la herramienta PVGIS, se puede determinar estos ángulos (Photovoltaic Geographical Information System, [PVGIS], s.f.):

Resumen

↓

Datos proporcionados:	
Localización [Lat/Lon]:	39.640,2.645
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-SARAH2
Tecnología FV:	Silicio cristalino
FV instalada [kWp]:	1
Pérdidas sistema [%]:	14
Resultados de la simulación:	
Ángulo de inclinación [°]:	35 (opt)
Ángulo de azimut [°]:	0 (opt)
Producción anual FV [kWh]:	1979.17
Irradiación anual [kWh/m ²]:	2025.69
Variación interanual [kWh]:	39.90
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia [%]:	-2.66
Efectos espectrales [%]:	0.87
Temperatura y baja irradiancia [%]:	-7.67
Pérdidas totales [%]:	-22.04

Ilustración 19: datos de ángulos de inclinación y azimut óptimos para la ubicación de estudio

De esta forma, se obtiene que el ángulo de inclinación que deben tener los módulos es de 35º y el de azimut, de 0º. Estos serán condicionantes que se tratarán de tener en cuenta a la hora de la construir las pérgolas.

5.3.2 Estudio de la producción anual

Teniendo en cuenta los consumos, es necesario realizar un **estudio de producción** fotovoltaica-eólica, que serían necesarios para producir cifras similares a los consumos, evitando a su vez elevar en exceso el número de placas necesarias.

Para ello, se procede de la siguiente manera:

- Se va a realizar diferentes combinaciones entre tres potencias distintas de aerogeneradores que, complementadas con el número de módulos necesarios, se obtenga la producción necesaria.
- Los módulos no rendirán en condiciones ideales (25ºC y 1000 W/m²) durante su funcionamiento, sino que estarán sometidos a condiciones cambiantes y variables que reducirán su rendimiento. Esta reducción se asume del 80%.
- Se va a asumir que, en estas combinaciones, solo se incluirá un único aerogenerador, ya que es importante minimizar el impacto visual de este tipo de generadores.
- El aerogenerador escogido pertenece al fabricante *Enair*, fabricante español que basa sus cálculos de producción eólica a través del departamento de energía eólica de la Universidad Técnica de Dinamarca. Este departamento goza de gran reconocimiento y prestigio.
- Se hará uso de la herramienta de PVgis para determinar la producción fotovoltaica a lo largo del año.
- Altura de la parcela de estudio sobre el nivel del mar: 91m.
- Curva de consumo usada como referencia: consumo de los 15 puntos de recarga.

5.3.2.1 Propuesta 1: Aerogenerador Enair 70 PRO (5 kW) – 306 kWp de fotovoltaica

En primer lugar, con este tipo de aerogenerador, sería necesario una potencia pico fotovoltaica de 306 kWp (612 módulos de 500W cada uno), para compensar el consumo anual.

Los datos de producción por la parte eólica se muestran en la ilustración 20:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

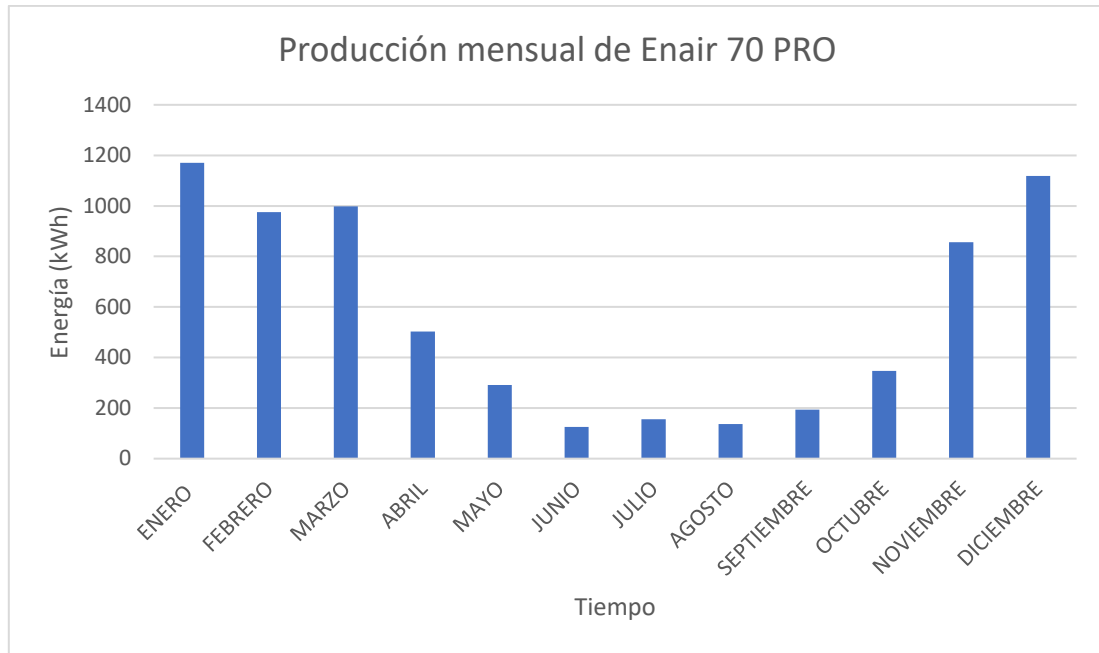


Ilustración 20: producción mensual del aerogenerador Enair 70 PRO

Por su parte, la gráfica obtenida de Pvgis, arroja los siguientes resultados:

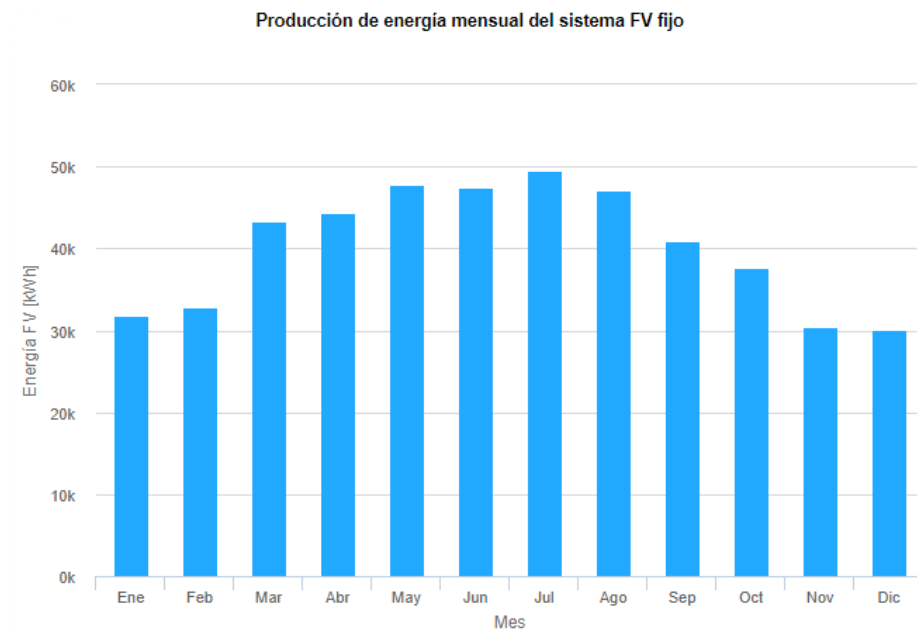


Ilustración 21: producción estimada fotovoltaica según programa Pvgis para compensar los consumos

Las gráficas combinadas con el consumo, muestra lo siguiente:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

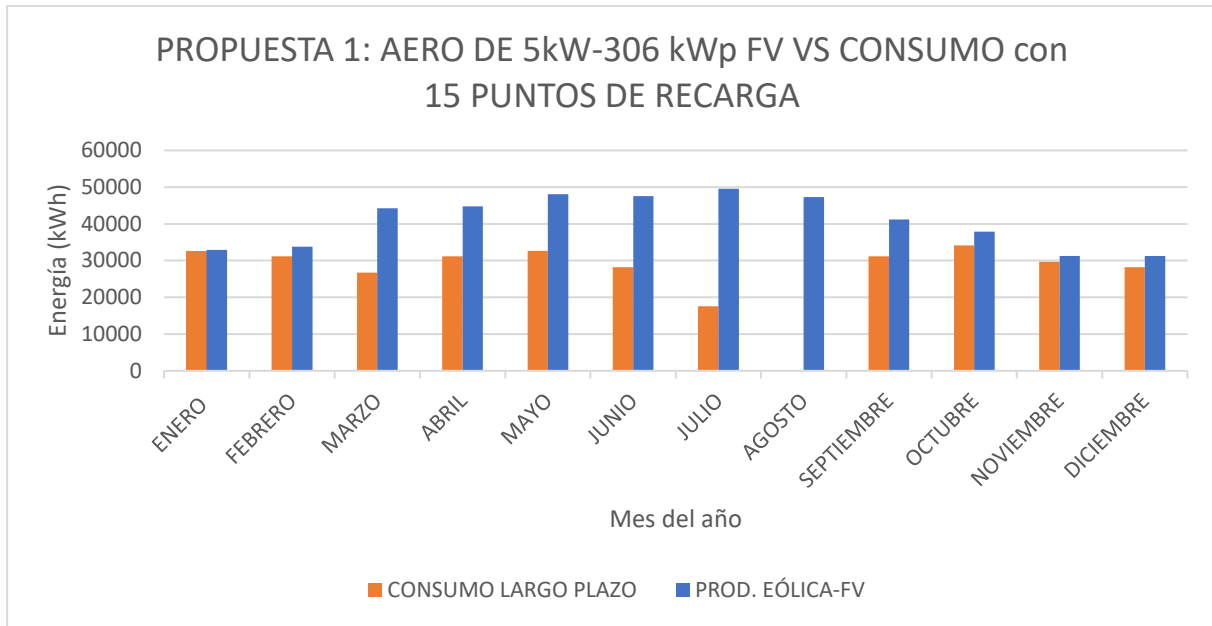


Ilustración 22: combinación de producción eólica+fotovoltaica versus el consumo con 15 puntos de recarga

La tabla de costes que supondría esta instalación son los siguientes:

Tabla 9: costes de material según la propuesta 1

² COSTES	Modelo	Cantidad	Precio unitario	TOTAL (€)
Módulos	Trina Solar TSM-DE18M(II)	612	127.48	78017.76
Marquesinas	Genérica	3 marquesinas de 2ª tipología (540 módulos) + 72 módulos en marquesina de 2ª tipología	1642.25	251264.25
Aerogenerador	Enair 70 PRO	1	7100	7100
COSTE TOTAL				336382.01

5.3.2.2 Propuesta 2: Aerogenerador Enair 200L (10 kW) – 275 kWp de fotovoltaica

Para esta combinación, sería necesario una potencia pico fotovoltaica de 275 kWp (550 módulos de 500W cada uno), para compensar el consumo anual. Los datos de producción eólica son los siguientes:

² Los costes mostrados se refieren únicamente al material. En el documento 2: Estudio Económico, se mostrarán con mayor detalle.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

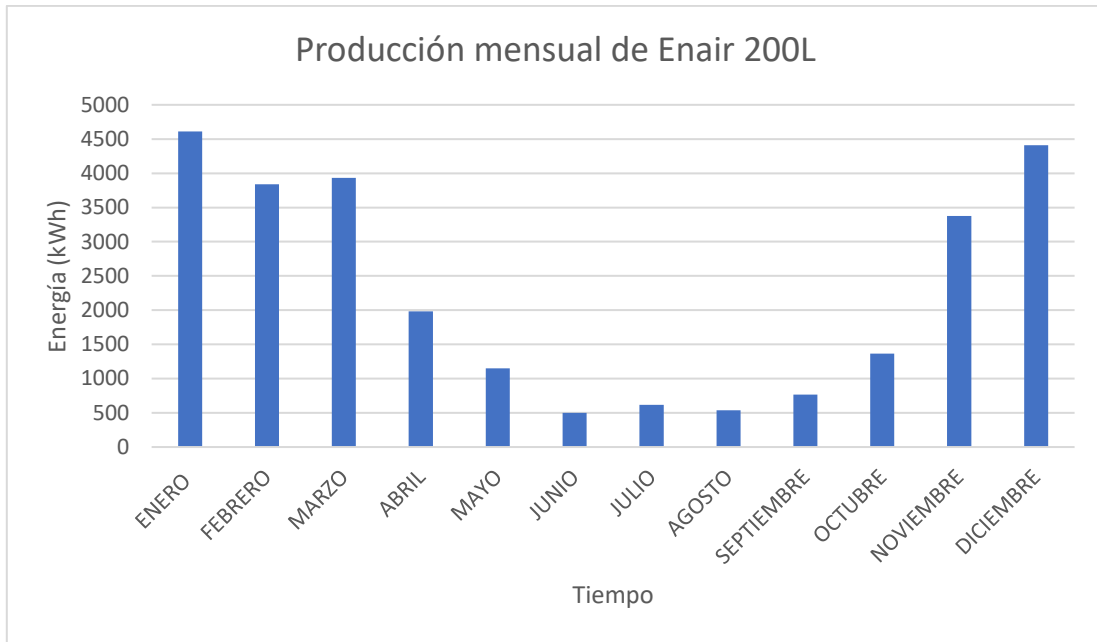


Ilustración 23: producción mensual del aerogenerador Enair 200L

Y la gráfica de Pvgis:

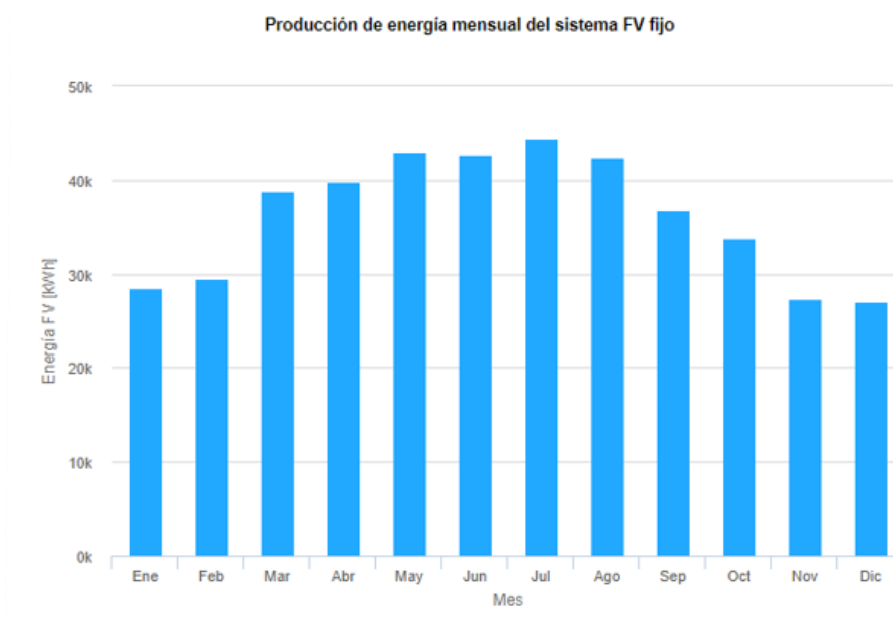


Ilustración 24: producción estimada fotovoltaica según programa PVgis para compensar los consumos

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Combinadas muestran lo siguiente:

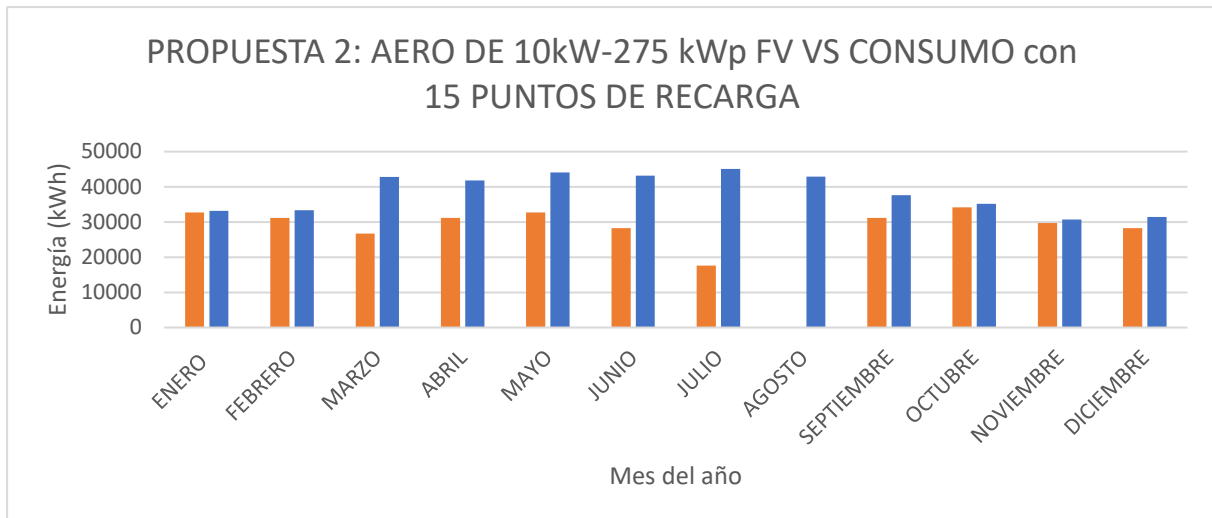


Ilustración 25: combinación de producción eólica+fotovoltaica versus el consumo con 15 puntos de recarga

La tabla de costes:

Tabla 10: costes de material según la propuesta 2

COSTES	Modelo	Cantidad	Precio unitario	TOTAL (€)
Módulos	Trina Solar TSM-DE18M(II)	550	127.48	70114
Marquesinas		3 marquesinas de 2ª tipología (540 módulos) + 10 módulos en marquesina de 3ª tipología	1642.25	225809.375
Aerogenerador	Enair 200L	1	18779.20	18779.20
COSTE TOTAL				314702.575

5.3.2.3 Propuesta 3: Aerogenerador Enair 200 (20 kW) – 265 kWp de fotovoltaica

Para esta última combinación, sería necesario una potencia pico fotovoltaica de 265 kWp (530 módulos de 500W cada uno), para compensar el consumo anual. Los datos de la producción eólica son los siguientes:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

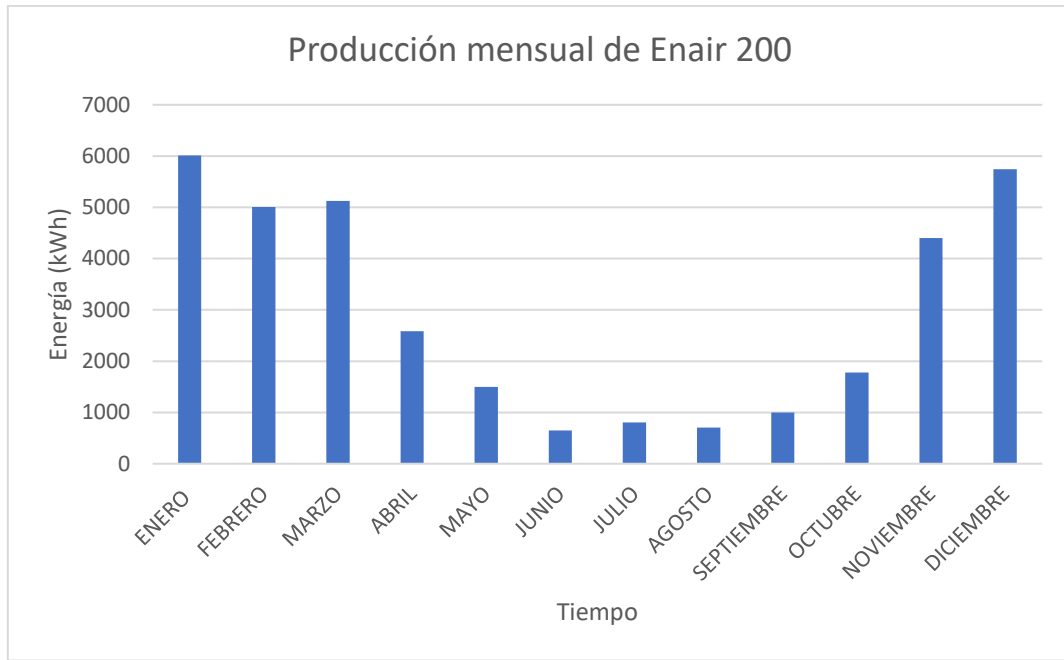


Ilustración 26: producción mensual del aerogenerador Enair 200

Y la gráfica de Pvgis:

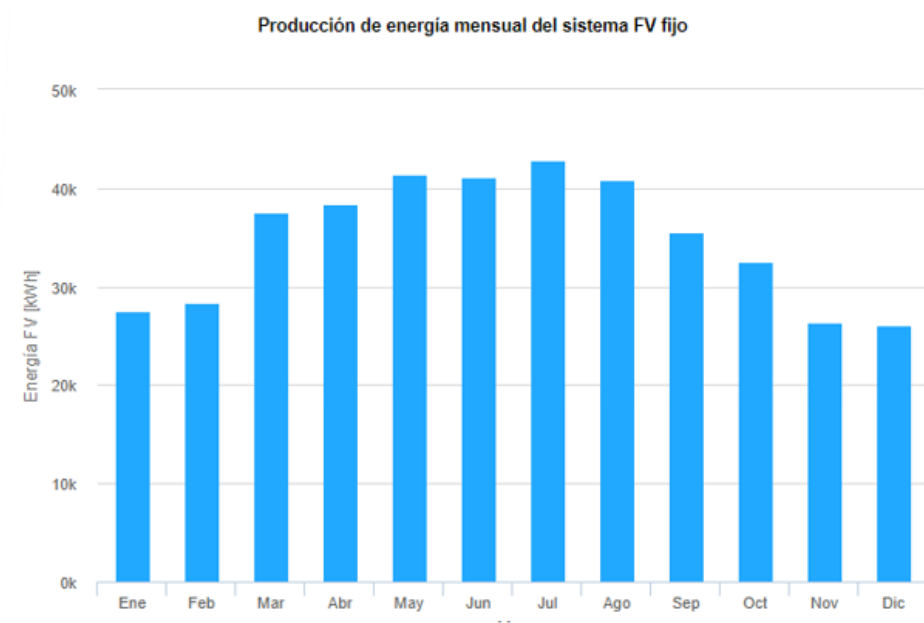


Ilustración 27: producción estimada fotovoltaica según programa PVgis para compensar los consumos

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

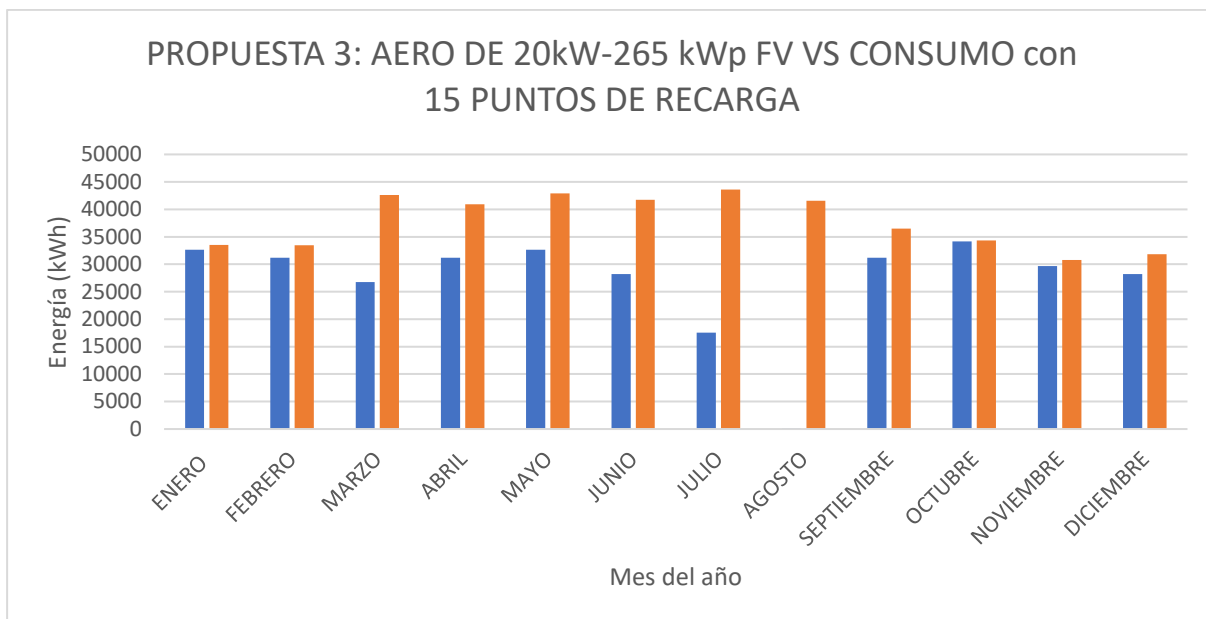


Ilustración 28: combinación de producción eólica+fotovoltaica versus el consumo con 15 puntos de recarga

La tabla de costes es la siguiente:

Tabla 11: costes de material según la propuesta 3

COSTES	Modelo	Cantidad	Precio unitario	TOTAL (€)
Módulos	Trina Solar TSM-DE18M(II)	530	127.48	67564.4
Marquesinas	Genérica	2 marquesinas de 2ª tipología (360 módulos) + 170 módulos en marquesina de 2ª tipología	1642.25	217598.125
Aerogenerador	Enair 200	1	53000	53000
COSTE TOTAL				338162.52

En todas las propuestas, se consigue compensar las cifras de consumo, sin embargo, es importante decidir cuál es la propuesta óptima en función del coste de cada una de ellas. Por ello, se presenta la tabla resumen de las propuestas:

Tabla 12: tabla resumen de las propuestas

Propuestas	Módulos	Marquesinas	Aerogenerador	TOTAL (€)
Propuesta 1: Enair 70 PRO (5kW) +306 kWp fotovoltaica	612xTrina Solar TSM-DE18M(II)	Genéricax4 (540 +72 módulos)	Enair 70 PRO	336382
Propuesta 2: Enair 200L (10kW) +275 kWp fotovoltaica	550xTrina Solar TSM-DE18M(II)	Genéricax4 (540 +10 módulos)	Enair 200L	314702.52

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Propuesta 3: Enair 200 (20kW) +265 kWp fotovoltaica	530xTrina Solar TSM-DE18M(II)	Genéricax3 (360 +10 módulos)	Enair 200	338162.5
--	-------------------------------	------------------------------	-----------	----------

Por tanto, la combinación más económica es la **segunda**, en la que se obtiene un precio inferior.

Las características técnicas del aerogenerador escogido son las siguientes:

Tabla 13: características técnicas del aerogenerador Enair 200L

Datos eléctricos		Datos mecánicos	
Potencia nominal (kW)	10	Inicio de rotación (m/s)	1.85
Voltaje	400	Diámetro (m)	9.8
Frecuencia de red (Hz)	50	Peso rotor (kg)	1000
Corriente de cortocircuito (A)	150	Longitud de pala (m)	4.5

5.3.2.4 Organización del aerogenerador y de los módulos en la zona de estudio

Una vez obtenida la combinación de módulos-aerogenerador más eficiente, se procede ahora a la realización de su distribución en la parcela de estudio. En primer lugar, el número de módulos por cada tipología de aparcamiento (asumiendo dimensiones de 2.2x1.1m) se muestra en la tabla 14:

Tabla 14: número de módulos por tipología de aparcamiento

Tipologías	Nº de módulos fotovoltaicos	Tipologías	Nº de módulos fotovoltaicos
Primera	100	Tercera	48
Segunda (x10)	1800	Cuarta	109
Sexta (x6)	1188	Quinta	163
TOTAL	3088	TOTAL	320

De los cuales, solo se hará uso de la **2ª y 3ª tipología**.

Teniendo lo anterior en cuenta, se puede realizar la organización de estos en la zona de estudio:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS



Ilustración 28: organización de los módulos en la parcela de estudio

Tras la imagen anterior, dado que se va a considerar construir una pérgola por cada fila de aparcamiento, se obtienen un total de 4 marquesinas (3 dobles y 1 simple), incluyendo una base de cimientos cada 2 plazas de aparcamiento (en detalle en el documento de planos).

Con respecto a la ubicación de los módulos, se podría haber elegido otra configuración en la que estos estuvieran situados más al Sur, lo que en la teoría supondría mayor rendimiento. Sin embargo, se ha elegido esta configuración, ya que se ha decidido priorizar el coste de la longitud de cable al cuadro de baja tensión (situado en el edificio más cercano), por encima de otro tipo de distribución de los módulos, ya que, desplazarlos decenas de metros apenas influiría en el rendimiento general de la instalación; de la misma forma, sí se vería afectado el coste, ya que los tramos de canalizaciones, zanjas y cableados deberían ser mayores.

El aerogenerador se decide situar en la posición más al Norte posible, para evitar posibles sombreados hacia los módulos.

Finalmente, se muestra la comprobación realizada para demostrar la colocación óptima (horizontales o verticales) de los módulos para maximizar el número de módulos instalados por pérgola. Por simplicidad, se ha obviado la parte triangular del trapecio:

Tipologías	SEGUNDA TIPOLOGÍA	TERCERA TIPOLOGÍA
ANCHO (m)	10,85	10,85
LARGO (m)	47,38	10,54
Nº MÓD: ANCHO DEL MÓDULO EN LADO MÁS CORTO (CONF.1)	189	36
Nº MÓD: ANCHO DEL MÓDULO EN LADO MÁS LARGO (CONF.2)	172	36
Nº MÓD (MÁX)	189	36

Ilustración 29: comparación de la máxima cantidad de módulos según la configuración establecida

Se observa que para las dos tipologías conviene usar la configuración 1 ya que maximiza el número de módulos por pérgola.

5.3.3 Comparación consumo vs producción

A continuación, se desglosa las comparaciones de consumos vs producciones en función del número de puntos de recarga para la propuesta óptima deducida anteriormente:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS



Ilustración 30: consumo vs producción híbrida para 4 puntos de recarga según la propuesta 2

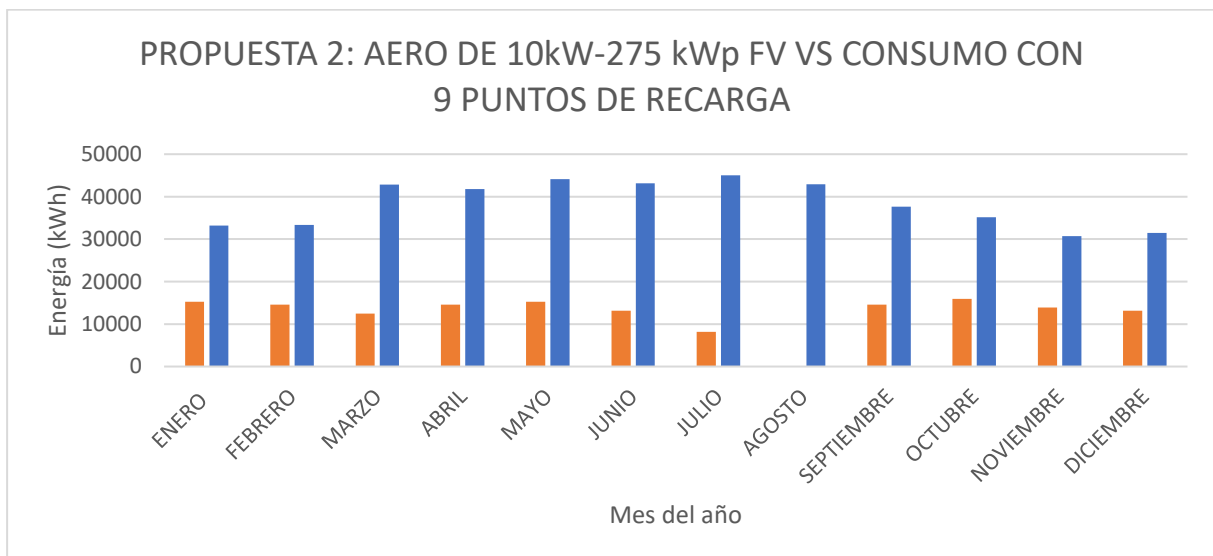


Ilustración 31: consumo vs producción híbrida para 9 puntos de recarga según la propuesta 2

Evidentemente si se implementasen 4 o 9 puntos de recarga, no se produciría ningún tipo de déficit en lo referente al consumo.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

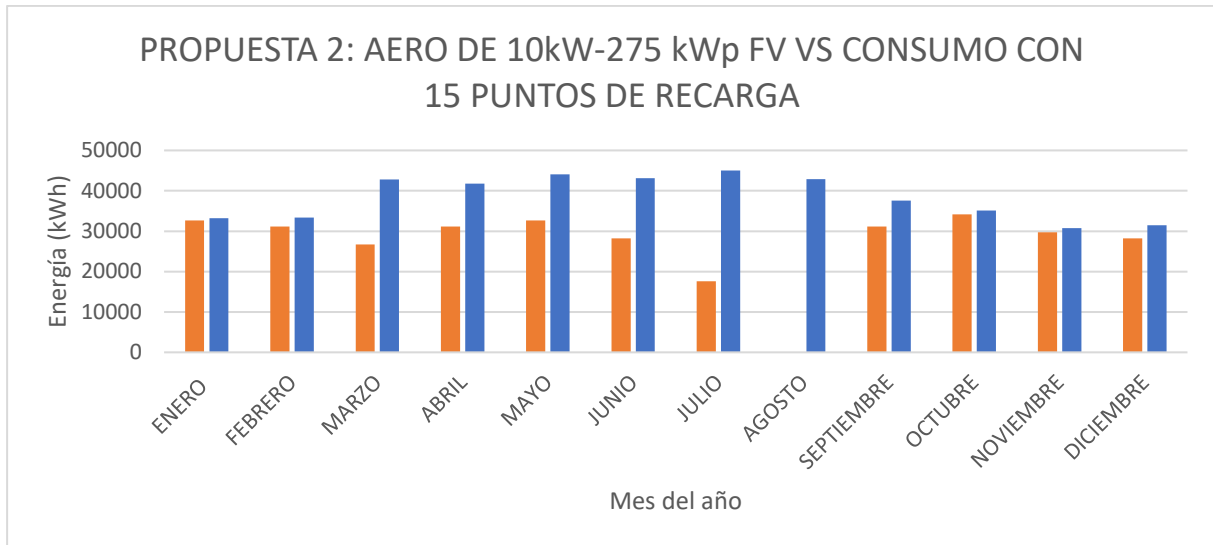


Ilustración 32: consumo vs producción híbrida para 15 puntos de recarga según la propuesta 2

Tal y como se comentó, para esta propuesta e instalando 15 puntos de recarga, se observa, a principios y finales de año, en los que la climatología es más adversa, una situación pareja entre consumo y producción, momento en el que la parte aerogeneradora aporta la cantidad de energía necesaria para sufragar el déficit de producción por parte de la fotovoltaica.

Esta situación, se observa de forma más adecuada en la siguiente ilustración (ilustración 33):

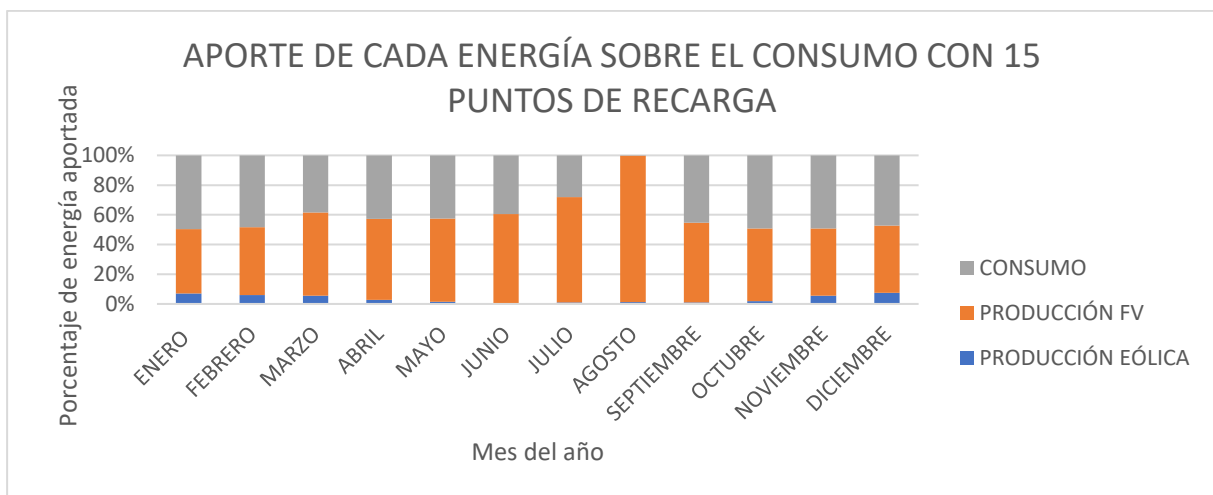


Ilustración 33: porcentaje de aporte de energía frente al consumo con 15 puntos de recarga

Efectivamente, en los meses de invierno y otoño, la producción por parte de los paneles se ve reducida debido al peor clima en estas estaciones del año, y es en este punto, donde el aerogenerador es fundamental.

Por su parte, en los meses de primavera y sobre todo verano, el clima es más favorable para la producción de fotovoltaica y el aerogenerador cobra menor relevancia, ya que además de ello, en estos meses el consumo se reduce considerablemente.

Se procede ahora con la descripción técnica de la instalación.

6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN

6.1 Características particulares de la instalación: pérgolas

6.1.1 Diseño de las pérgolas

Se van a instalar las pérgolas fotovoltaicas distribuidas cada una, según la tipología de aparcamiento de la zona de estudio, dado que los fabricantes ofrecen gran diversidad de diseño para el dimensionamiento de las pérgolas, lo cual permite solicitar presupuesto de pérgolas con características dimensionales muy concretas, que es lo que ocurre en este caso. Así, volviendo de nuevo a las dimensiones de cada tipología (Tablas 1 y 2):

Tabla 15 (extracto de la Tabla 1 y Tabla 2): dimensiones de las tipologías 2 y 3 de aparcamiento

Tipologías	Anchura (m)	Longitud (m)
Segunda (x3)	10.85	47.38
Tercera (considerando rectangular)	5	10.66

Por tanto, según las tablas anteriores, se procede a diseñar dos tipologías de pérgolas (simples y dobles).

En primer lugar, se han de tener en cuenta aspectos basados en el emplazamiento de las pérgolas:

-A partir de la observación y análisis del terreno del aparcamiento, se decide que es necesario una modificación de la estructura del emplazamiento ya que esta presenta numerosos árboles y terreno arenoso, el cual debe ser asfaltado. Toda la flora de la zona sería trasladada a otro punto de la universidad. De la misma manera, y en función de lo comentado anteriormente, se decide realizar el asfaltado de toda la zona de estudio, consiguiendo, por una parte, una renovación total del terreno y por otra, un aspecto visual más homogéneo de la zona.

-Además, la zona no está preparada para aprovechar el máximo número de plazas por metro cuadrado (ya que no se observan líneas de delimitación de plazas), por tanto, una estructura como la presentada la ilustración 6, podría ser válida.

Por otra parte, también se incluyen aspectos económicos y técnicos relacionados con las pérgolas:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

-Se valoró la idea de incluir las pérgolas con seguidor solar fotovoltaico ya que aprovecha un 25% más la radiación que usando eje fijo. Sin embargo, la implantación de este tipo de tecnología en una superficie de 9600 m², se antojaría altamente compleja para realizar tareas de mantenimiento, la cual requeriría mayor porcentaje de inversión. Por tanto, se decidió usar eje fijo como estructura.

-Tal y como se comenta en el apartado 5.3.1, el ángulo óptimo de inclinación de los módulos era de 35º, sin embargo, esta inclinación no resulta ser viable para la construcción de las pérgolas, ya que instalar pérgolas con este grado de inclinación supondrían pérdidas extra en forma de generación de sombras entre las mismas pérgolas. Por tanto, se decide implantar como ángulo de inclinación, los recomendados por los fabricantes.

-El dimensionamiento de las pérgolas se ha basado en modelos y croquis de fabricantes reales de este tipo de instalaciones.

Las siguientes ilustraciones (ilustración 34 y 35) muestran un prototipo de marquesina doble a un agua indicando las principales dimensiones:

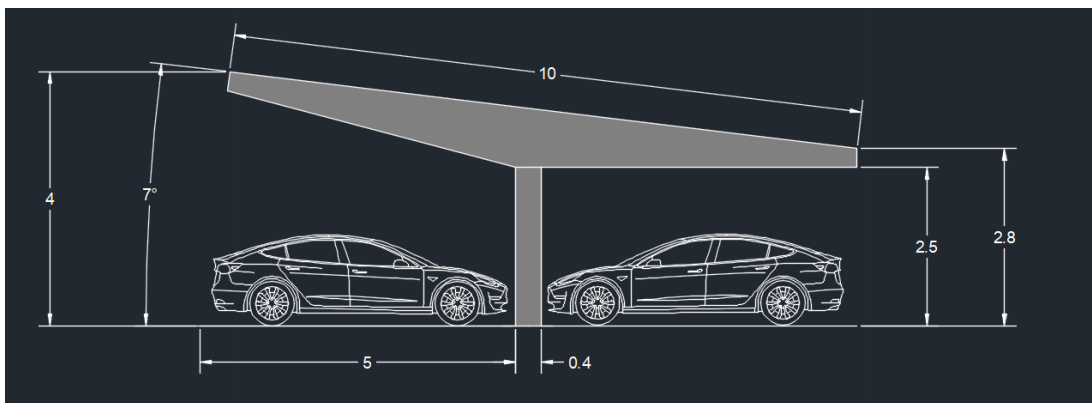


Ilustración 34: prototipo de marquesina doble, vista de perfil

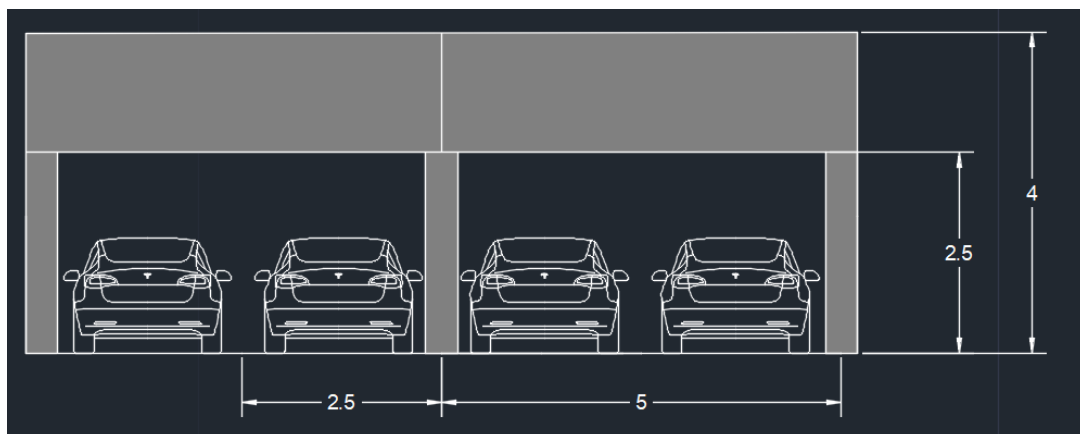


Ilustración 35: prototipo de marquesina doble, vista de alzado

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tal y como se indica, se busca una pérgola que cubra por completo la longitud de dos coches (marquesinas dobles), guardando un espacio de dos plazas de aparcamiento entre cimentaciones.

La altura de estas se ha establecido por estandarización.

Se muestra una imagen realista (ilustración 36)³ de cómo se confeccionaría el aparcamiento en 3D de las ilustraciones 34 y 35:



Ilustración 36: imagen real de marquesinas dobles

³ En la ilustración 36, se muestra una imagen de una marquesina a dos aguas, sin embargo, se decide incluir por su detalle ilustrativo.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Por otra parte, para la marquesina simple se tiene:

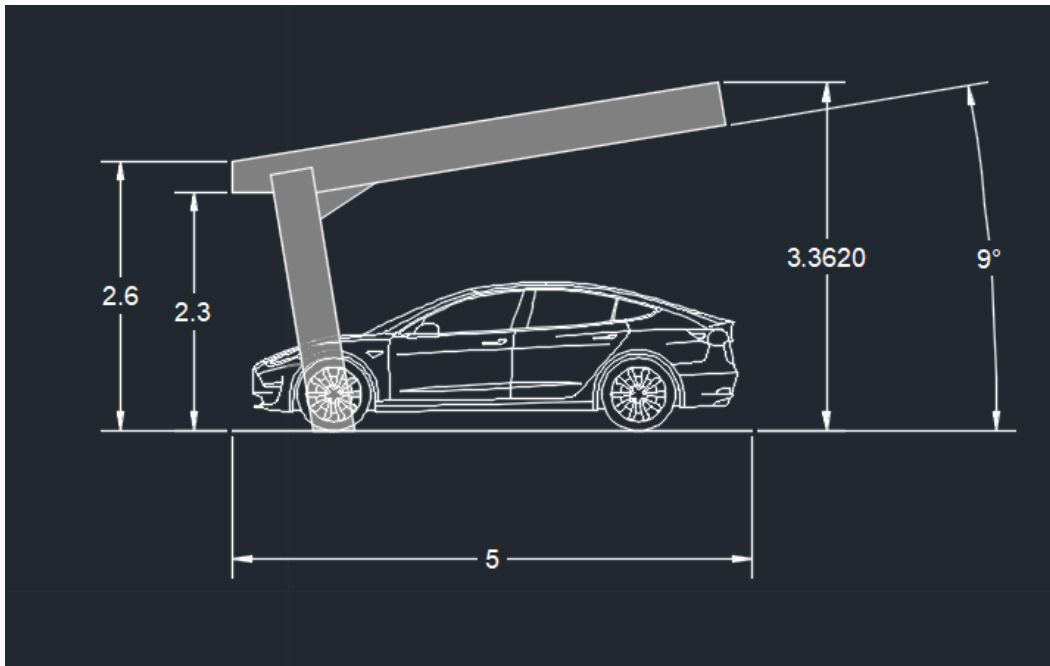


Ilustración 37: prototipo de marquesina simple, vista de perfil

Y para la vista de alzado:

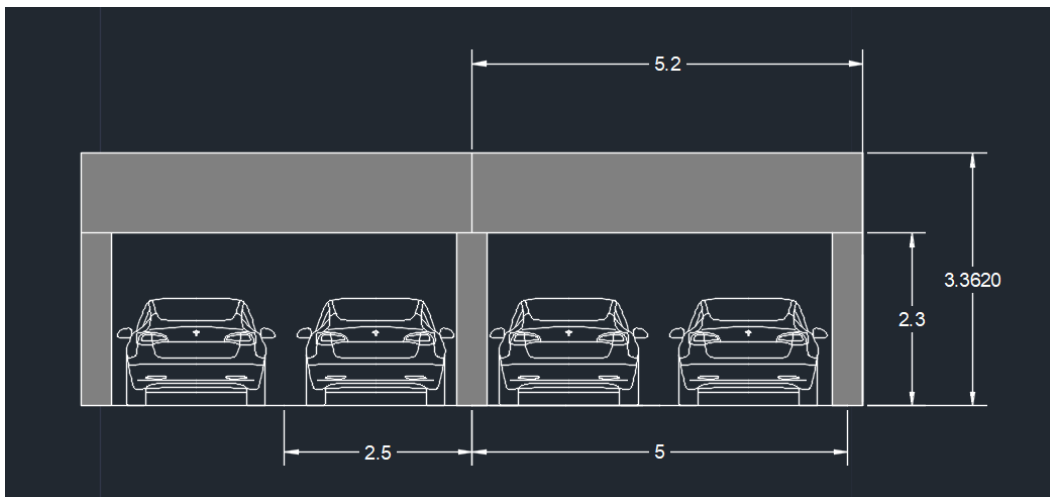


Ilustración 38: prototipo de marquesina simple, vista de alzado

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Por su parte, para la vista de alzado se decide mantener la misma estructura que con la marquesina doble: cimientos cada dos plazas de aparcamiento.

De nuevo, una representación realista en 3D para la marquesina simple sería la mostrada en la ilustración 39:



Ilustración 39: imagen real de marquesina simple

6.1.2 Cálculos estructurales

A continuación, se detallan los cálculos de las acciones que afectarán a las marquesinas, basados en el Código Técnico de la Edificación: Seguridad Estructural y Acciones en la Edificación (CTE DB SE-AE):

6.1.2.1 Acciones permanentes

Peso propio de los módulos

Los modelos de las placas solares son los TSM-DE18M(II) de TrinaSolar, con dimensiones 1102x2187x37 mm y un peso por placa de 26.5 kg. Por tanto, por cada metro cuadrado de cada placa, se tiene una carga de 0.107 kN/m². Asumiendo con los planos realizados anteriormente, que, por cada marquesina doble caben 18 módulos y que, por cada marquesina simple, 10, se puede estimar unas cargas de 1.926 kN/m² y 1.07 kN/m², respectivamente.

Peso propio y total de la marquesina

Se diferencian varias partes en función de si la marquesina es doble o simple:

Tabla 16: datos de pesos de la marquesina en función de su tipología

Explosión marquesina	Pesos (kg)	
	Simple	Doble
Vela	135	437.8
Correas	4.3	4.3
Pie	104	180

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Base	40.8	79.2
TOTAL	284.1	701.3
⁴TOTAL (2 soportes)	563.9	1398.3

De esta forma, se puede estimar la carga total por cada marquesina:

Tabla 17: carga total de pesos según la tipología de marquesina

	Simple	Doble
Área (m²)	24.12	55.14
Carga (kg/m²)	23.37	25.36
Carga (kN/m²)	0.2337	0.2535

6.1.2.2 Acciones variables⁵

Sobrecarga de uso

El primer concepto para las acciones variables es la llamada sobrecarga de uso, el cual es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. En este punto, el CTE diferencia dos cargas; la uniformemente distribuida (q_k) y la concentrada (Q_k).

Así, haciendo uso de la tabla 3.1 del CTE (CTE DB SE-AE 3.1), se puede determinar que el caso de las marquesinas puede relacionarse con el caso G (cubiertas accesibles únicamente para conservación).

Así pues, para ángulos menores de 10° se tiene un q_k de 1 kN/m^2 y un Q_k de 2 kN/m^2 :

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	2
		G2	Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁶⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
				0	2

Ilustración 40: valores de cargas según tipo de cubiertas para las sobrecargas de uso

⁴ Se tiene en cuenta ahora los dos soportes de la marquesina

⁵ Por simplicidad, se suponen mismo ángulo de inclinación para ambos tipos de marquesinas.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Viento

La acción del viento se puede expresar mediante tres coeficientes:

$$q_{e(z)} = q_b * c_e(z) * c_p \text{ (Ec. 2)}$$

El primer concepto q_b es la presión dinámica del viento, y está relacionada con el emplazamiento geográfico de la obra. En este caso, se trata de la zona C con un valor de $q_b=0.52 \text{ kN/m}^2$:

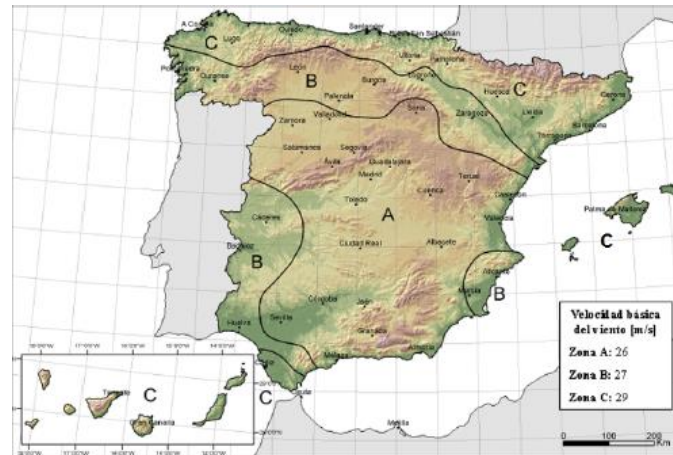


Ilustración 41: presión dinámica del viento según el emplazamiento geográfico de la zona Peninsular

El término c_e es el llamado coeficiente de exposición, el cual varía con la altura del punto considerado (z) y del grado de aspereza (g) del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. En el caso del proyecto, éste se encuentra a una altura de 91m sobre el nivel del mar (Google Earth). Haciendo uso de la tabla D.2: Coeficientes para tipo de entorno (tipo iii):

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

- k(g) Es un factor de terreno
- L(g) Longitud de la rugosidad (z_0), que se interpreta como el tamaño del torbellino que se forma por fricción del aire con la superficie del terreno.
- Z(g) Es la altura mínima a considerar

Ilustración 42: parámetros según aspereza del entorno para el coeficiente de exposición

Y aplicando las respectivas fórmulas se tiene:

$$c_e(g, z) = F(g, z) * [F(g, z) + 7 * k(g)] \text{ (Ec. 3)}$$

Siendo $F(g, z)$ el coeficiente de rugosidad:

$$F(g, z) = k(g) * \ln\left(\frac{\max(z, Z(g))}{L(g)}\right) \text{ (Ec. 4)}$$

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

$$= 0.19 * \ln\left(\frac{91}{0.05}\right) = 1.426$$

El coeficiente c_e queda: $c_e = 1.426 * [1.426 + 7 * 0.19] = 3.9311$

El último coeficiente el c_p , coeficiente eólico externo, y tiene en cuenta la forma y orientación de la superficie respecto al viento. Este depende de la dirección relativa del viento, la forma del edificio, la posición del elemento en la zona y el área de influencia.

Para la determinación de los coeficientes, se muestra la tabla (tabla D.8) que los muestra para una marquesina a un agua:

Tabla D.8 Marquesinas a un agua

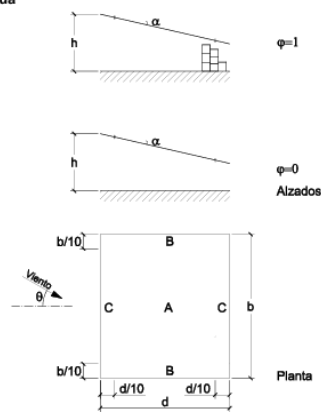


Ilustración 43: coeficientes para marquesinas a un agua

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Coeficientes de presión exterior		
			$c_{p,10}$		
			Zona (según figura)		
			A	B	C
0°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,5	1,8	1,1
	Arriba	0	-0,6	-1,3	-1,4
	Arriba	1	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,8	2,1	1,3
	Arriba	0	-1,1	-1,7	-1,8
	Arriba	1	-1,6	-2,2	-2,5
10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,2	2,4	1,6
	Arriba	0	-1,5	-2,0	-2,1
	Arriba	1	-2,1	-2,6	-2,7
15°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,4	2,7	1,8
	Arriba	0	-1,8	-2,4	-2,5
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,7	2,9	2,1
	Arriba	0	-2,2	-2,8	-2,9
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,0	3,1	2,3
	Arriba	0	-2,6	-3,2	-3,2
	Arriba	1	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,2	3,2	2,4
	Arriba	0	-3,0	-3,8	-3,6
	Arriba	1	-1,5	-2,2	-2,7

Ilustración 44: coeficientes de presión según el ángulo de inclinación de la cubierta, considerando factor de obstrucción ε [0,1]

Por tanto, la acción del viento para cada zona queda:

$$q_{e(A)} = q_b * c_e(z) * c_{pA} = 2.45 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{e(B)} = q_b * c_e(z) * c_{pB} = 4.90 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{e(C)} = q_b * c_e(z) * c_{pC} = 3.27 \text{ kN/m}^2$$

Acciones térmicas

Las acciones térmicas vienen dadas por los saltos térmicos más desfavorables en dos situaciones: verano e invierno, asumiendo un diferencial entre ambos de 40°C.

Así pues, aplicando relaciones entre el tipo de material empleado (acero) y las deformaciones se tiene:

$$\varepsilon = \alpha * \Delta T \text{ (Ec. 5)} = 1.5 * 10^{-5} (C^{\circ-1}) * 40^{\circ}C = 6 * 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma = \varepsilon * E \text{ (Ec. 6)} = 6 * 10^{-4} * 210000 \text{ MPa} = 126 \text{ MPa}$$

Nieve

La acción de la nieve en ciertas ubicaciones del país puede llegar a ser determinante, pero dado que en la isla no se ha llegado a concretar episodios de nieve incluso en los meses de mayor frío, se decide considerar que esta acción es nula.

6.1.2.3 Acciones accidentales

Las acciones accidentales, aunque tengan un bajo nivel de probabilidad de ocurrencia tienen una intensidad muy importante, por ello, es importante también tenerlas en cuenta:

Incendio

Las normativas que rigen los riesgos de seguridad en el caso de incendio son los siguientes:

- DB-SI: seguridad en caso de incendio
- RSCIEI-04: reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales

La carga viene dada por dos conceptos:

- Carga de fuego permanente: debido a revestimientos y otros elementos combustibles.
- Carga de fuego variable: carga de los productos en función del uso previsto.

Impacto

El caso de impacto es importante tenerlo en cuenta ya que las cimentaciones deben soportar ciertos esfuerzos (A_d) accidentales en el caso de que algún vehículo estacione de forma incorrecta en la zona delimitada o provoque un choque. Así:

Los valores de cálculo de A_d dependen del impacto de vehículos de hasta 30 kN de peso total: si se produce en la dirección paralela a la vía el coeficiente será de 50 kN y si se produce en la dirección perpendicular, será de 25 kN.

6.1.2.4 Combinación de acciones

Como combinación de las acciones se debe aplicar una serie de coeficientes a las cargas obtenidas en función de su tipología. De esta forma, según el DB-SE1(Resistencia y Estabilidad), se tiene que:

Situación persistente o transitoria

El valor de cálculo de los efectos de las acciones E_d en una **situación persistente o transitoria**, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$E_d = E \left\{ \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \cdot \gamma_P \cdot P_r + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}, j \geq 1, i > 1$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

considerando la actuación simultánea de:

Las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$)

Una acción variable cualquiera (principal), en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintas combinaciones

El resto de las acciones variables (concomitantes), en valor de combinación ($\gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_k$)

Ilustración 45: combinaciones de acciones según el tipo de carga aplicada

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Sustituyendo en la fórmula señalada anterior y teniendo en cuenta que por normativa el coeficiente de simultaneidad es nulo para las acciones variables no principales (tabla 4.2 del SE-1), debido al tipo de categoría de construcción (tipo G), y despreciando el pretensado, queda:

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento			
	0,6	0,5	0
Temperatura			
	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno			
	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Ilustración 46: coeficientes de simultaneidad en función de las acciones variables

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
Variable	1,50	0	
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
Variable	1,50	0	

(1) Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Ilustración 47: coeficientes de seguridad según el tipo de carga aplicada

$$E_{dsimple} = 1.35 * 0.2337 + 1.50 * (1 + 2) = 4.81 \frac{kN}{m^2} \text{ (Ec. 7)}$$

$$E_{doble} = 1.35 * 0.2535 + 1.50 * (1 + 2) = 4.84 \frac{kN}{m^2} \text{ (Ec. 8)}$$

6.1.2.5 Aptitud al servicio

Otro criterio que cabe tener en cuenta es la deformación de los elementos constructivos o flecha activa una vez realizada la puesta en obra. Así, considerando que se debe mantener la integridad de dichos elementos, la flecha debe ser menor que 1/300.

6.1.3 Selección de las pérgolas

Finalmente, se efectúa una búsqueda para la selección óptima del fabricante de las pérgolas confeccionando una tabla con parámetros concretos tales como:

Tabla 18:selección de fabricantes de marquesinas dobles

Fabricante	Modelo	Carga máxima del techo soportada (kg/m ²)	Tipo	Longitud (m)	Anchura entre cimientos (m)	Precio (€)
Jupecar. Ingeniería y Construcción	Cantilever-EuroVig	No disponible	Doble	9.5	5	15467
Tropegal	PP4-A12600	100	Doble	10.3	5	15887.18
SunPark	SunPark2M2 doble	127.46	Doble	10.05	5	16767.89
Aplitech Energy	PVM4	No disponible	Doble	9.82	5	15460.99

Tabla 19:selección de fabricantes de marquesinas simples

Fabricante	Modelo	Carga máxima del techo soportada (kg/m ²)	Tipo	Longitud (m)	Anchura entre cimientos (m)	Precio (€)
AplitechEnergy	PVM2	No disponible	Simple	4.943	5	7730
Circutor	PVM2	No disponible	Simple	4.946	5	7512
SunPark	SunPark2M2 sencilla	127.46	Simple	5.20	5	7394.90

Teniendo en cuenta las características ofrecidas por las tablas y siguiendo un criterio de uniformidad entre las pérgolas, se escoge como fabricante a Aplitech Energy.

6.2 Características particulares de la instalación: instalación fotovoltaica

6.2.1 Selección de los inversores

Tal y como se ha obtenido en el apartado 5.3.1, los módulos escogidos son los TrinaSolar (TSM-DE18M(II)) de 500W con una potencia total generada de 275 kW. Es necesario realizar una búsqueda de inversores ya que deben transformar toda esa potencia de corriente continua a corriente alterna.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

En primer lugar, cabe tener en cuenta el llamado factor de dimensionamiento (F_s) del inversor, el cual depende de la zona del emplazamiento en el que se encuentra la instalación, en este caso, **sur de Europa** (Figueres, 2015, diapositiva 14):

ZONA	F_s
Norte de Europa (lat. 55 - 70°)	0,65 – 0,8
Europa Central (lat. 45 - 55°)	0,75 – 0,9
Sur de Europa (lat. 35 - 45°)	0,85 – 1,0

Ilustración 48: factor de dimensionamiento de inversores según emplazamiento en Europa

Por tanto, para determinar el caso más desfavorable se utiliza el valor de $F_s=0.85$ para determinar la potencia del inversor máxima en corriente continua. La relación entre ambos términos se muestra a continuación:

$$F_s = \frac{P_{dc_{max}}}{P_{gfv_{mpp_{stc}}}} \quad (Ec. 9)$$

Según se ha obtenido previamente, la potencia fotovoltaica generada ($P_{gfv_{mpp_{stc}}}$) es de 275 kW. Por tanto, es fácil calcular la potencia del inversor en corriente continua o también llamada potencia del inversor de entrada ($P_{dc_{max}}$):

$$P_{dc_{max}} = 0.85 * 275 = 233.75kW \quad (Ec. 10)$$

Esta potencia resulta ser elevada, lo cual conviene dividir esta potencia en diferentes inversores de menor potencia para que evitar un sobredimensionamiento del mismo. Por ello, se decide seleccionar 3 inversores de potencias de entrada lo más cercanas posible a 80 kW cada uno.

Además, se tratará de dividir lo más proporcionalmente posible la cantidad de módulos para cada inversor, es decir, de 180 módulos por cada inversor.

En este momento, se procede a la búsqueda de inversores que cumplan con el requisito establecido.

Tabla 20: selección de fabricantes de inversores

Fabricante	Modelo	Potencia Entrada (kW)	Eficiencia (%)	Garantía (años)	Fiabilidad	Precio (€)
Azzurro	3PH 70000 TL-V1	84	98.4	10	Buena	4837.34
Solax	X3-MGA-60K-G2	90	98.1	10	Buena	2919.71
Deye	SUN-80K-G	78	98.3	5	Normal	4189

Por tanto, se decide elegir el inversor de Solax ya que, aunque no presente la mejor eficiencia, lo compensa por su buena garantía y bajo precio. Más datos del inversor, aparecen en la tabla 21:

Tabla 21: características del inversor Solax X3-MGA-60K-G2

Entradas CC	
Rango de voltaje MPPT (V)	[180-1000]
Número de MPPT	6
Corriente máxima de entrada por MPPT (A)	32
Nº de strings por MPPT	2
Salidas CA	
Frecuencia nominal (Hz)	50/60
Corriente nominal (A)	95.7

6.2.1.1 Cálculos layout

Inversor 1

El cálculo del layout es importante ya que determina el número de módulos que se podrán colocar en serie y en paralelo (N_s y N_p), o también llamados *strings*.

Para el cálculo del layout primero se debe deducir los valores de temperatura máxima y mínima. Por una parte, para temperatura mínima en los días de invierno en Palma (*Weather Spark*) se ha podido llegar a tener en la zona 0º, si se añade un margen de seguridad, se puede establecer el valor en $T_{min} = -10^\circ\text{C}$ (*WeatherOnline*, s.f.):

Por otra parte, en días de verano se puede asumir temperaturas alrededor de $+40^\circ$. Se ha impuesto valores de carácter conservador para conseguir un acoplamiento correcto entre el generador fotovoltaico y el inversor; condiciones que se indican en la ilustración 49:

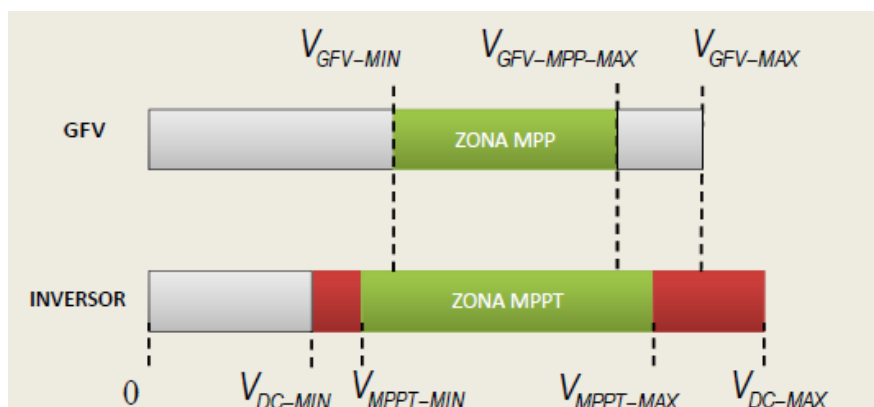


Ilustración 49: acoplamiento correcto entre módulos e inversor (Figueres, 2015, diapositiva 16)

La imagen anterior representa las condiciones en las que se debe cumplir que:

- La máxima y la mínima tensión del campo fotovoltaico debe ser inferior a V_{dc_max} y superior a V_{mppt_min} respectivamente.
- La máxima corriente del campo fotovoltaico debe ser inferior a I_{dc_max} .

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtiene la temperatura máxima T_{max} (con $NOTC = 43^{\circ}C$ y suponiendo un $G_{max} = 1 \text{ kW/m}^2$):

$$T_{max} = T_{amb_{max}} + G_{max} * \frac{(NOTC - 20^{\circ}C)}{0.8} = 68.75^{\circ}C \text{ (Ec. 11)}$$

A continuación, se obtienen el resto de los parámetros de la ficha técnica del modelo de paneles escogido:

$$\begin{aligned} V_{mod_{oc}}(G_{stc}, T_{min}) &= V_{mod_{oc_{stc}}} + \beta v * (T_{min} - 25^{\circ}) = \\ &= 48.6 - 0.1215 * (-10 - 25) = 52.852 \text{ V (Ec. 12)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{mod_{oc}}(G_{stc}, T_{max}) &= V_{mod_{mpp-stc}} + \beta v * (T_{max} - 25^{\circ}) = \\ &= 42.80 - 0.1215 * (68.75 - 25) = 37.484 \text{ V (Ec. 13)} \end{aligned}$$

Para el cálculo del número de módulos que se puede conectar en serie N_s se usa la siguiente inequación:

$$\left(\frac{V_{mppt_{min}}}{V_{mod_{mpp}(G_{stc}, T_{max})}} \right) \leq N_s \leq \left(\frac{V_{dc_{max}}}{V_{mod_{oc}}(G_{stc}, T_{min})} \right) \text{ (Ec. 14)}$$

$$\frac{180}{37.484} = 4.80 \leq N_s \leq \frac{1000}{52.852} = 18.92$$

Por tanto, los rangos de N_s serán [4-19].

Por, tanto, sabiendo que $N_s * N_p \geq N_{mod}$ se confecciona la siguiente tabla (introduciendo 176 módulos para el primer inversor):

Tabla 22: combinaciones de número de strings en serie y paralelo que cumplen con especificaciones para inversor 1 y 2

Ns	Np	Nmod	Pgvf (Kw)	Vgfv-MPP-			
				Vstc (V)	VgfvMIN	VgfvMAX	IgfvMAX
4,00	45,00	180,00	90,00	171,20	149,94	211,41	553,39
5,00	36,00	180,00	90,00	214,00	187,42	264,26	442,71
6,00	30,00	180,00	90,00	256,80	224,91	317,12	368,93
7,00	26,00	182,00	91,00	299,60	262,39	369,97	319,74
8,00	23,00	184,00	92,00	342,40	299,88	422,82	282,84
9,00	20,00	180,00	90,00	385,20	337,36	475,67	245,95
10,00	18,00	180,00	90,00	428,00	374,84	528,53	221,36
11,00	17,00	187,00	93,50	470,80	412,33	581,38	209,06
12,00	15,00	180,00	90,00	513,60	449,81	634,23	184,46
13,00	14,00	182,00	91,00	556,40	487,30	687,08	172,17
14,00	13,00	182,00	91,00	599,20	524,78	739,94	159,87
15,00	12,00	180,00	90,00	642,00	562,27	792,79	147,57
16,00	12,00	192,00	96,00	684,80	599,75	845,64	147,57

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

17,00	11,00	187,00	93,50	727,60	637,23	898,49	135,27
18,00	10,00	180,00	90,00	770,40	674,72	951,35	122,98
19,00	10,00	190,00	95,00	813,20	712,20	1004,20	122,98

De todas las combinaciones, se eligen las señaladas ya que son las únicas que cumplen con las restricciones siguientes.

Entre ellas, sabiendo que el inversor tiene 6 MPPT:

$$N_p \leq \frac{I_{dc_{max}}}{I_{mod_{sc}(T_{max})}} = \frac{6 * 32}{12.30} = 15.60 \text{ (Ec. 15)}$$

Con:

$$I_{mod_{sc}(T_{max})} = I_{mod_{MPP}} + \alpha (T_{max} - 25^\circ) = 11.69 + \frac{0.04}{100} * (68.75 - 25) = 12.30 \text{ A (Ec. 16)}$$

Se escoge la combinación de $N_s=18$ y $N_p=10$, con 180 módulos.

Además:

$$V_{GFV_{min}} > V_{mppt_{min}} = 674.72 > 180 \text{ (Ec. 17)}$$

$$V_{mppt_{max}} > V_{GFV_{max}} = 1000 > 951.35 \text{ (Ec. 18)}$$

$$V_{GFV_{max}} > V_{GFV_{MPP_{STC}}} > V_{GFV_{min}} = 951.35 > 770.40 > 674.72 \text{ (Ec. 19)}$$

$$I_{gfv_{max}} < I_{dc_{max}} = 122.98 \text{ A} < 6 * 32 = 192 \text{ A (Ec. 20)}$$

Dado que se ha decidido dividir la potencia generada para 3 inversores, sería necesario realizar los cálculos tres veces, sin embargo, introduciendo 180 módulos para el inversor 2 y 190 para el inversor 3 las restricciones se cumplen, sumando un total de 550 módulos. Así:

Inversor 3

Introduciendo 190 módulos:

Tabla 23: combinaciones de número de strings en serie y paralelo que cumplen con especificaciones para inversor 3

Ns	Np	Nmod	Pgfv (Kw)	Vgfv-MPP- Vstc (V)	VgfvMIN	VgfvMAX	IgfvMAX
4,00	48,00	192,00	96,00	171,20	149,94	211,41	590,28
5,00	38,00	190,00	95,00	214,00	187,42	264,26	467,31
6,00	32,00	192,00	96,00	256,80	224,91	317,12	393,52
7,00	28,00	196,00	98,00	299,60	262,39	369,97	344,33
8,00	24,00	192,00	96,00	342,40	299,88	422,82	295,14
9,00	22,00	198,00	99,00	385,20	337,36	475,67	270,55
10,00	19,00	190,00	95,00	428,00	374,84	528,53	233,65
11,00	18,00	198,00	99,00	470,80	412,33	581,38	221,36
12,00	16,00	192,00	96,00	513,60	449,81	634,23	196,76
13,00	15,00	195,00	97,50	556,40	487,30	687,08	184,46

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

14,00	14,00	196,00	98,00	599,20	524,78	739,94	172,17
15,00	13,00	195,00	97,50	642,00	562,27	792,79	159,87
16,00	12,00	192,00	96,00	684,80	599,75	845,64	147,57
17,00	12,00	204,00	102,00	727,60	637,23	898,49	147,57
18,00	11,00	198,00	99,00	770,40	674,72	951,35	135,27
19,00	10,00	190,00	95,00	813,20	712,20	1004,20	122,98

De todas las combinaciones, se eligen las señaladas ya que son las únicas que cumplen con las restricciones siguientes.

Se decide escoger la combinación de $N_s=19$ y $N_p=10$.

Además:

$$V_{GFV_{min}} > V_{mppt_{min}} = 712.20 > 180 \text{ (Ec. 21)}$$

$$V_{mppt_{max}} > V_{GFV_{max}} = 1000 \approx 1004.20 \text{ (Ec. 22)}^6$$

$$V_{GFV_{max}} > V_{GFV_{MPP_{STC}}} > V_{GFV_{min}} = 1004.20 > 813.20 > 712.20 \text{ (Ec. 23)}$$

$$I_{gfv_{max}} < I_{dc_{max}} = 122.98A < 6 * 32 = 192A \text{ (Ec. 24)}$$

A continuación, a modo de resumen, se presenta una tabla que aglutina las características para cada inversor:

Tabla 24: número de módulos en serie y paralelo a conectar por inversor

Inversor	N_s	N_p	N_{mod}
Inversor 1	18	10	180
Inversor 2	18	10	180
Inversor 3	19	10	190
TOTAL			550

6.2.2 Diseño del *layout*

Para el diseño de *layout* se han de tener en cuenta una serie de consideraciones:

- En primer lugar, se centra en la optimización de la producción de energía. La disposición estratégica de los paneles solares permite captar la mayor cantidad posible de luz solar a lo largo del día lo que se traduce en la generación eléctrica más eficiente y sostenida.
- Evitar sombreados también es otro aspecto importante motivo por el que se ha decidido ubicar los paneles en una zona en la que los sombreados son prácticamente inexistentes.
- La seguridad y el acceso también se consideran el diseño del *layout*. Se planifica una disposición que facilite el acceso a seguro para tareas de mantenimiento limpieza y reparación

⁶Por simplificar las combinaciones de N_s y N_p , se asume una relajación en la restricción

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

asegurando un flujo de trabajo eficiente y seguro. La ubicación de los inversores y el resto de aparamenta se ubicaría en casetas cercanas a la zona de instalación.

- Un buen diseño del layout también considera la planificación a largo plazo. Se anticipa la posible expansión del sistema permitiendo la división de más equipos en el futuro si la instalación requiere ampliación.
- Los cables azules (terminal positivo) y rojo (terminal negativo), transcurren por el pilar de la cimentación (hueco) y mediante zanja se dirigen al inversor correspondiente.
- Por ubicación de la cuarta pérgola, se decide nombrar al inversor intermedio como inversor 3, teniendo así, coherencia con los resultados de la tabla 24 (cálculos layout).
- Cada pérgola doble tiene 10 cimentaciones, comenzando la enumeración de izquierdas a derechas.
- Así, la implementación de los inversores fotovoltaicos queda de la siguiente manera en la ilustración 50:

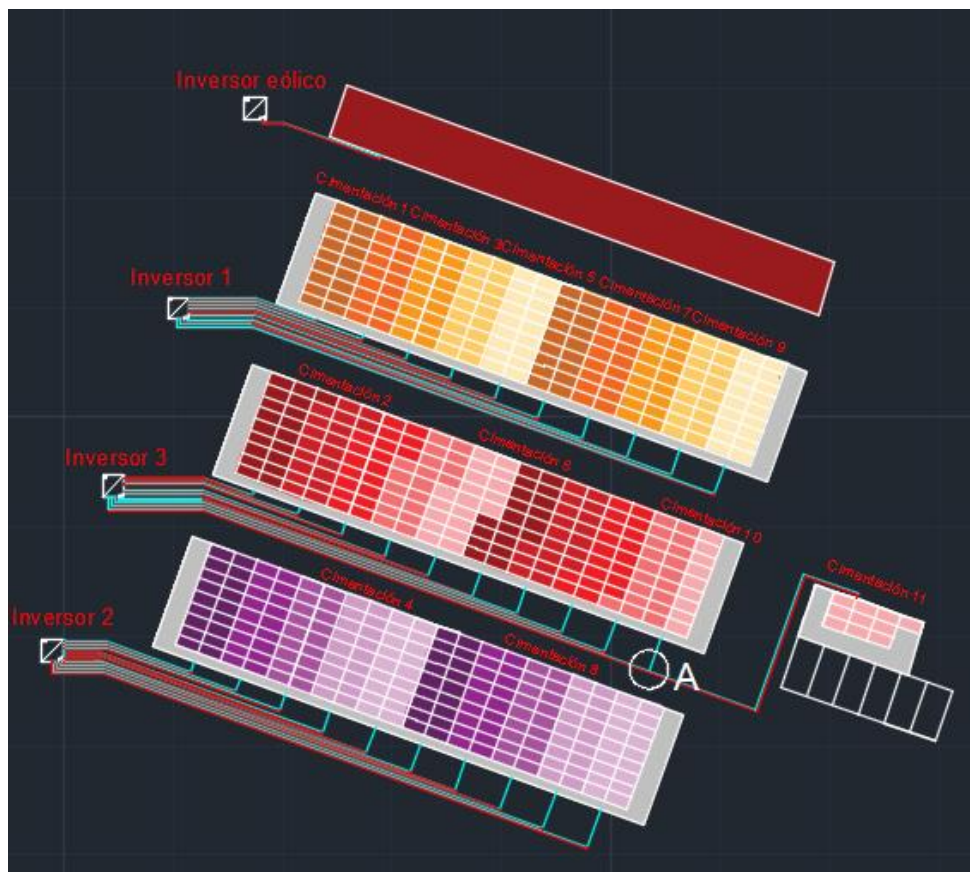


Ilustración 50: diseño layout de los módulos y su distribución según Tabla 24

6.2.3 Selección del cableado

En esta sección se trata de poner el foco en la elección del cableado adecuado para la solución con los módulos de *TrinaSolar*. La selección precisa del cableado es fundamental para minimizar las pérdidas de potencia y optimizar el funcionamiento de la instalación. Las corrientes que fluyen a través de los cables generan caídas de tensión lo que conlleva a pérdidas energéticas. Por consiguiente, es importante estimar el tamaño de los cables en base a la corriente en cada tramo, así como calcular las pérdidas asociadas con el tipo de cable utilizado. Los cálculos obtenidos han sido basados mediante el documento *Diseño de una Instalación fotovoltaica sobre la cubierta de la Etsit (Universitat Politècnica de València [UPV], 2024)*.

El análisis que se llevará a cabo es el siguiente: dado que se tiene diez pilares de cimentación por cada fila de pérgolas (4) y cada uno de ellos tiene unas distancias distintas con cables de terminal positivo y negativo, es necesario medir estas 62 distancias (seleccionando las distancias más desfavorables y sumando la longitud del cable positivo con el negativo).

Corriente continua

Tras el procedimiento de medida, y a la vista de la configuración de los strings en la ilustración 50, se decide actuar de la siguiente manera:

- Para las cimentaciones 1 a 10 de cada pérgola, dado que las secciones son similares, se decide unificar y escoger como distancias, las más desfavorables, en este caso, las distancias de los cables que se dirigen al inversor 3. De esta forma, se consigue que todo el cableado cumpla con las restricciones y se faciliten las tareas de instalación/mantenimiento.
- La cimentación 11 es única para el inversor 3, por tanto, se ha de estudiar como tal: dado que el cable que sale de esta cimentación se une en el punto A con el cable que sale de la cimentación 10 (ilustración 50), su sección será la misma que la del cable de esta cimentación 10, sin embargo, no será así para la determinación de las pérdidas, las cuales sí serán determinadas de forma independiente.
- Las pérdidas de potencia se analizarán en función del primer punto, considerando las mismas pérdidas en los tramos de las cimentaciones 1 a 10.

Tabla 25: Distancias de cables hasta el inversor en función de la posición de la cimentación en la pérgola. En azul, se asume mismas distancias para todos los cables de la instalación; en rojo, la sección será la misma que para el tramo 3_10

Nomenclatura String (D_Inversor_Cimentación)⁷	Distancia Cable "positivo" (m)	Distancia Cable "negativo" (m)	Suma total (m) (incluida distancia de cimentación)⁸

⁷ Nomenclatura: D_Inversor 3_1 (inversor 3, distancia desde la cimentación 1 hasta el inversor 3). Detallado en ilustración 50.

⁸ La distancia desde la cimentación se compone de: 2.5 m de altura de cimentación más 5m de la longitud de la plaza de los vehículos.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

D_Inversor3_1	12.54	12.6	32.64
D_Inversor3_2	17.14	17.2	41.84
D_Inversor3_3	21.74	21.8	51.04
D_Inversor3_4	26.49	26.6	60.59
D_Inversor3_5	31.08	31.15	69.73
D_Inversor3_6	36.04	36.1	79.64
D_Inversor3_7	40.83	40.1	88.43
D_Inversor3_8	45.69	45.72	98.91
D_Inversor3_9	50.56	50.7	108.77
D_Inversor3_10	56.41	56.6	120.51
D_Inversor3_11 (hasta el punto A)	29.3	29.5	66.3

Corriente continua: Intensidad máxima de los Strings

De acuerdo con la normativa se hará uso del material **cobre** para la confección de los cables, los cuales discurrirán enterrados mediante canalización.

En primer lugar, para el criterio de la intensidad máxima se aplica la norma UNE 20460-7-712. Así:

$$I_{cab_{strings}} \geq 1.25 * I_{mod_{scstc}} = 1.25 * 12.28 = 15.35 A \text{ (Ec. 25)}$$

En la tabla C.1.1 de la especificación AENOR EA 0038 se puede encontrar un valor de sección de 1.5 mm² con una intensidad máxima de 24 A con los conductores adyacentes a la superficie:

TEMA 3.4: Diseño de IFCR

C.1 Intensidad máxima admisible de los cables para conexionado de placas o paneles fotovoltaicos

En la tabla C.1.1 se indica la intensidad máxima admisible para los cables del capítulo 3 de esta especificación, las condiciones de referencia son:

- temperatura ambiente: 60 °C;
- temperatura máxima en el conductor: 120 °C,

Tabla C.1.1 – Intensidad máxima admisible en cables eléctricos para conexionado de placas o paneles fotovoltaicos

Sección mm ²	Tipo de instalación		
	Al aire 60 °C	Sobre superficie	Adyacente a superficies
1,5	30	29	24
2,5	41	39	33
4	55	52	44
6	70	67	57
10	98	93	79
16	132	125	107
25	176	167	142
35	218	207	176

Para temperaturas > 60º, la norma ofrece unas tablas de corrección

Energía Fotovoltaica y Electrónica de Potencia DIE ETSII Valencia 31

Ilustración 51: secciones de cable según criterio térmico (Figueres, 2015, diapositiva 31)

Corriente continua: caída de tensión máxima de cada String

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Por recomendaciones de ASIF, se debe aceptar una caída de tensión máxima en los cables de CC del 1% con los cables que van desde los módulos hasta el inversor. De esta forma, asumiendo una caída de tensión de cada string del 0.75% ($\Delta V_{string} \leq 0.75\%$), se tiene para la longitud del string 3_1:

$$S_{string} \geq \frac{2 * L_{string} * I_{mod}_{mpp_{stc}}}{\left(\frac{\Delta V_{string}(\%)}{100}\right) * \sigma(T_{max}) * N_s * V_{mod}_{mpp_{stc}}} = \frac{2 * 32.64 * 11.69}{\frac{0.75}{100} * 44 * 19 * 42.80} = 2.84 \text{mm}^2 \text{ (Ec. 26)}$$

Con $\sigma(T_{max})$, la conductividad del cable:

	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C	70° C PVC	80° C	90° C XPLE/EPR
Cu	56	54	52	50	48	47	45	44
Al	35	34	32	31	30	29	28	27

Ilustración 52: datos de conductividad del cable en función de la temperatura (Figueres, 2015, diapositiva 38)

Para el resto, se elabora la tabla 26:

Tabla 26: secciones de cada cable según la cimentación de la pérgola

NºStrings	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)
Inversor3_1	2.843	4
Inversor3_2	3.645	6
Inversor3_3	4.446	6
Inversor3_4	5.278	6
Inversor3_5	6.075	10
Inversor3_6	6.938	10
Inversor3_7	7.704	10
Inversor3_8	8.617	16
Inversor3_9	9.476	16
Inversor3_10	10.499	16
Inversor3_11	---	16

Por tanto, el criterio más desfavorable es el de **caída de tensión** puesto que es del que se obtienen mayores secciones.

Corriente continua: pérdidas

Las pérdidas de potencia en cada uno de los strings se pueden calcular como (ejemplo para el string 3_1):

$$P_{string} = \frac{2 * L_{string} * I^2_{mod}_{mpp_{stc}}}{\sigma(T_{max}) * S_{string}} = \frac{2 * 32.64 * 11.69^2}{44 * 4} = 50.686 \text{ W (Ec. 27)}$$

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Para el resto, se elaboran las tablas 27 y 28:

Tabla 27: pérdidas de cada cable por pérgola de las cimentaciones 1 a 9 para las 3 pérgolas

NºStrings	Pérdidas (W/3pérgolas)	Pérdidas totales (W)
Inversor3_1	50.68	152.04
Inversor3_2	43.31	129.93
Inversor3_3	52.84	158.52
Inversor3_4	62.72	188.16
Inversor3_5	43.31	129.93
Inversor3_6	49.46	148.38
Inversor3_7	54.92	164.76
Inversor3_8	38.39	115.17
Inversor3_9	42.22	126.68
Inversor3_10	46.78	140.35
TOTAL		1453.92

Tabla 28: pérdidas para la cimentación 11 del inversor 3

Nº Strings	Pérdidas
Inversor3_11	25.73

El porcentaje de pérdidas en función de la potencia total fotovoltaica generada es de:

$$\%pérdidas = \left(\frac{1479.65}{275 * 10^3} \right) * 100 = 0.538\% \text{ (Ec. 28)}$$

Corriente alterna para cuadro de protección y medida

Con respecto a la corriente alterna se tiene:

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: intensidad máxima

Aplicando la norma ITC-BT40 y sabiendo que:

- $V_{g\phi\phi} = 400 \text{ V}$ (tensión de red trifásica)
- $I_{g_{rmsN}} = 87 \text{ A}$ (corriente nominal del inversor)
- $L_{ca} =$ (distancia desde los inversores al cuadro AC previo al cuadro general de baja tensión situado del edificio más cercano: Guillem Cifre de Colonya)

Puesto que se disponen de 3 inversores, las distancias al cuadro AC (situado en la planta baja) varían. Por tanto, se elabora una tabla con las distancias (obtenidas mediante Google Maps):

Tabla 29: distancias de los inversores al cuadro AC de baja tensión

Inversores	Distancia (m)
------------	---------------

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

1	159.21
2	203.61
3	186.41

La primera restricción que se debe cumplir es la siguiente:

$$I_{cab_{CA}} \geq 1.25 * I_{g_{rmsN}} = 1.25 \cdot 87 = 108.75 \text{ A (Ec. 29)}$$

Si se busca este valor de corriente en la tabla A52-2 bis de la norma 20460-5-523, se tiene una sección de 35 mm² con una corriente de mínima de 117 A (XLPE3, D):

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ANEXO
TABLA A52-B1 (UNE 20460-5-523)
Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia	Tabla y columna			
	Intensidad admisible para los circuitos simples			
	Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR	
Número de conductores				
	2	3	2	3
Conductores aislados en un conductor en una pared térmicamente aislante	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 3	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 6
Cable multiconductor en un conductor en una pared térmicamente aislante	Tabla A.52-1 bis columna 3	Tabla A.52-1 bis columna 2	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5
Conductores aislados en un conductor sobre una pared de madera o mampostería	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8
Cable multiconductor en un conductor sobre una pared de madera o mampostería	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 7
Cables unipolares o multipolares sobre una pared de madera o mampostería	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 11	Tabla A.52-1 bis columna 9
Cable multiconductor en conductos enterrados	Tabla A.52-2 bis columna 3	Tabla A.52-2 bis columna 4	Tabla A.52-2 bis columna 5	Tabla A.52-2 bis columna 6
Cable multiconductor al aire libre Distancia al suelo no inferior a 3 veces el diámetro del cable	Tabla A.52-1 bis columna 9	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 12	Tabla A.52-1 bis columna 10
Cables unipolares en contacto al aire libre Distancia al suelo no inferior al diámetro del cable	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 13	Tabla A.52-1 bis columna 11
Cables unipolares espaciados al aire libre Distancia entre ellos, como mínimo el diámetro del cable	---	Ver UNE 20460-5-523	---	Ver UNE 20460-5-523

Tabla A.52-2 bis
Intensidades admisibles en amperios
Temperatura ambiente 25°C en el terreno

Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
D	Cobre				
	1,5	20,5	17	24,5	21
	2,5	27,5	22,5	32,5	27,5
	4	36	29	42	35
	6	44	37	53	44
	10	59	49	70	58
	16	76	63	91	75
	25	98	81	116	96
	35	118	97	140	117
	50	140	115	166	138
	70	173	143	204	170
	95	205	170	241	202
	120	233	192	275	230
150	264	218	311	260	
185	296	245	348	291	
240	342	282	402	336	
300	387	319	455	380	
D	Aluminio				
	2,5	20,5	17	24,5	21
	4	27,5	22,5	32,5	27,5
	6	34	28	40	34
	10	45	38	53	45
	16	58	49	70	58
	25	76	62	89	74
	35	91	76	107	90
	50	107	89	126	107
	70	133	111	156	132
	95	157	131	185	157
	120	179	149	211	178
	150	202	169	239	201
185	228	190	267	226	
240	263	218	309	261	
300	297	247	349	295	

Ilustración 53:secciones de cable según tipo de instalación y material (Figueres, 2015, diapositiva 36)

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: caída de tensión máxima

Para este criterio se asume que:

- $\cos \varphi \cong 1$
- $\Delta V_{ca}(\%) \leq 1.5\%$

Se tiene para el primer inversor:

$$S_{CA_{3\phi}} \geq \frac{\sqrt{3} * L_{ca} * I_{g_{rmsN}} * \cos \varphi}{\frac{\Delta V_{ca}(\%)}{100} * \sigma(T_{max}) * V_{g\phi\phi}} = \frac{\sqrt{3} * 159.21 * 87 * 1}{\frac{1.5}{100} * 44 * 400} = 90.87 \text{ mm}^2 \text{ (Ec. 30)}$$

Para el resto se tiene:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 30: secciones de cable de corriente alterna de los inversores al cuadro de baja tensión

Inversor	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)
1	90.87	95
2	116.21	120
3	106.40	120

Se escoge el criterio de **caída de tensión** al obtener mayores secciones.

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: pérdidas

Para las pérdidas en corriente alterna se tiene considerando trifásico (primer inversor):

$$P_{CA} = \frac{3 * L_{ca} * I^2 g_{rmsN}}{\sigma(Tmax) * S_{ca}} = \frac{3 * 159.21 * 87^2}{44 * 95} = 864.87W \text{ (Ec. 31)}$$

Para el resto:

Tabla 31: pérdidas de cable desde los inversores al cuadro de baja en corriente alterna

Inversor	Pérdidas (W)
1	864.87
2	875.63
3	801.66
TOTAL	2542.16

El porcentaje de pérdidas será:

$$\%pérdidas = \left(\frac{2542.16}{275 * 10^3} \right) * 100 \text{ (Ec. 32)} = 0.924\%$$

Elección del cableado a emplear

Se elige cable del instalador *Leader Group* para la conexión de los paneles presentando las siguientes características:

Tabla 32: características del fabricante *Leader Group*

Fabricante	<i>Leader Group</i>
Modelo	H1Z272-K
Material	Cobre estañado
Temperatura de trabajo	[-40,90]°C
Secciones disponibles	[1.2,120] mm ²
Periodo de garantía	25 años
Precio (€)	269.90 (rollo de 200 m)

Conectores

La elección del conector depende de varios factores incluyendo la compatibilidad con los equipos y paneles solares, la facilidad de instalación, la resistencia a condiciones ambientales adversas y la eficiencia de la conexión.

A continuación, se muestra un listado con la mayoría de los conectores utilizados en instalaciones fotovoltaicas (Universitat Politècnica de València [UPV], 2023):

- **MC3**
 - Resistente a condiciones ambientales adversas.
 - Sistema de bloqueo por rosca.
- **MC4**
 - Fácil instalación y desmontaje.
 - Sistema de bloqueo a presión.
 - Amplia compatibilidad con equipos y paneles solares.
- **Amphenol H4**
 - Resistente a la intemperie.
 - Propiedades de sellado para entornos exigentes.
- **Tyco Solarlok**
 - Durabilidad.
 - Resistencia a condiciones adversas.
- **Amphenol Helios H4**
 - Alto rendimiento.
 - Resistencia excepcional a la intemperie y al calor.
- **XT60 y XT90**
 - Conexión confiable.
 - Facilidad de uso.

Los conectores MC4, son populares debido a su amplia disponibilidad, facilidad de instalación y su sistema de bloqueo a presión que proporciona una conexión segura. Además, su compatibilidad con muchos equipos de paneles solares los hace una elección confiable.

La importancia de los conectores radica en que son eslabones fundamentales en la cadena de transmisión de energía en una instalación fotovoltaica. Una conexión inadecuada puede generar pérdidas de energía resistencia no deseadas incluso fallos en el sistema. Por tanto, elegir conectores confiables y asegurar una instalación adecuada es crucial para garantizar la eficiencia y seguridad del sistema fotovoltaico.

Se considerará el mismo tipo de conector para el resto de los inversores. Al igual que ocurría con el cableado, se elige también al fabricante *Leader Group*.

Para las secciones 4 a 16 mm², se elige el modelo PV-BN101A, mientras que, para secciones mayores, se escoge el modelo LD-ES10.

6.2.4 Protecciones y aparamenta eléctrica

Protecciones necesarias

Para la parte de **corriente continua** de la instalación es recomendable instalar las siguientes protecciones (Figueres, 2015, diapositiva 49):

- **Diodos de paso en los strings:** normalmente integrados en los módulos para prevenir el paso de corriente inversa.
- **Fusibles de protección:** utilizados para prevenir sobrecargas en los strings.
- **Dispositivos de protección contra sobretensiones:** esenciales en ambos polos para proteger el sistema contra picos de tensión.
- **Interruptores seccionadores en cada string y el cuadro de conexión CC:** cruciales para separar los circuitos y facilitar tareas de mantenimiento y reparación.
- **Puesta a tierra de las partes metálicas:** necesaria para elementos como los módulos fotovoltaicos, estructuras de soporte y cajas de conexión para garantizar seguridad eléctrica.
- **Sistemas de monitorización y control avanzados:** agregan una capa adicional de protección mediante la detección temprana de anomalías en el sistema fotovoltaico permitiendo una respuesta rápida y eficaz ante posibles problemas.

Fusibles de protección de strings

Para la selección de los fusibles de protección de strings necesarios se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{mod_{MAXinversa}} \geq I_{fusible_n} \geq I_{mod_{MPPStc}} = 11.69A \text{ (Ec. 33)}$$

Además, hay que tener en cuenta:

$$V_{fusible_n} \geq 1.2 * V_{gf} v_{oc} = 1.2 * 48.60 = 58.32V \text{ (Ec. 34)}$$

Se ha optado para este tipo de fusibles, el fabricante *Enertronic*, modelo "A85 gPV".

Este fusible cumple con las especificaciones calculadas. Pueden trabajar hasta 1500 VDC y aceptar una corriente entre 1-32 A:

A85 gPV 1500 VDC Fuse 10x85 mm



FEATURES:

- 1500 VDC, 10x85 mm PV fuse link with glass-fiber
- Rated Current: 1-32 A
- Rated Breaking Capacity: 30 kA at 1500 VDC
- Time Constant: 1-3 ms
- Special design with silver plated caps for high-power PV applications
- Approvals: UL 248-19 (File: E490190)
- Comply to: IEC 60269-6/GBT 13539.6
- Customizable for special applications

Ilustración 54: ilustración fusible de protección de strings

Fusibles de protección de campo

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

El inversor seleccionado incorpora protección del conjunto de strings, por lo tanto, no es necesario instalarlo.

Interruptores seccionadores

Dentro de las opciones disponibles se han evaluado los interruptores de la marca *Lovato electric* (modelo GD032AT3).

Estos dispositivos permiten seleccionar diferentes puntos de funcionamiento. Además, gracias a su diseño compacto el espacio necesario dentro de la caja de conexionado del inversor solar se reduce considerablemente.



Ilustración 55: ilustración del interruptor seccionador seleccionado

Protección de sobretensiones

El inversor seleccionado, incorpora protección de fusibles de string, luego no es necesario realizar la búsqueda de este tipo de fusibles.

Tanto los fusibles de protección del campo como los interruptores seccionadores serán conectados al inversor respectivo.

Para la parte de **corriente alterna** de la instalación es recomendable instalar las siguientes protecciones (Figueres, 2015, diapositiva 55):

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- **Interruptor automático diferencial**, para la protección de personas en el caso de derivación de corriente a tierra.
- **Interruptor automático**, para desconexión-conexión de la instalación en caso de anomalía.
- **Contactador de apertura y cierre**
- **Protecciones de máxima y mínima frecuencia**, para la detección de valores eléctricos anormales que puedan provocar daños graves en la instalación.
- **Interruptor automático magnetotérmico**, para la protección frente a sobrecargas y cortocircuitos.
- **Aislamiento galvánico**, para limitar la corriente continua en red.

Interruptor automático diferencial

Se escoge el modelo RCCB-ID de la marca Schneider, presentando las siguientes características:

Tabla 33: características del interruptor automático diferencial escogido

Nº de polos	4
Intensidad nominal (A)	125
Sensibilidad (corriente de fuga) (mA)	300
Clase de protección	Tipo AC



Ilustración 56: imagen del interruptor Schneider escogido

Interruptor automático de la conexión

Se escoge el modelo HDA161L de la marca Hager, con las propiedades de la tabla 34:

Tabla 34: características del interruptor automático escogido

Nº de polos	4
Intensidad nominal (A)	160
Tensión de aislamiento (V)	690
Tensión soportada al impulso (V)	8k

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS



Ilustración 57: imagen del interruptor Hager escogido

Contactor de apertura y cierre

Se escoge el modelo LC1D09P7 de la marca Schneider:

Tabla 35: características del contactor escogido

Resistividad eléctrica (V)	690
Tensión de control (V AC)	230
Resistencia a tensión de choque (V)	6k

Schneider
Electric



Ilustración 58: imagen del contactor escogido

Protección de máxima y mínima frecuencia (relés de frecuencia)

Se decide escoger el relé de control de frecuencia RM35HZ21FM, de la marca Schneider:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 36: características del relé de frecuencia escogido

Rango de medida (Hz)	[40,70]
Corriente de conmutación (mA)	10
Tiempo de rearme (ms)	2000



Ilustración 59: imagen del relé de frecuencia escogido

Interruptor automático magnetotérmico

Se escoge el interruptor del fabricante Legrand, modelo DPX³:

Tabla 37: características del interruptor magnetotérmico escogido

Poder de corte (kA)	16
Número de polos	4
Intensidad nominal (A)	160

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS



Ilustración 60: imagen del interruptor magnetotérmico escogido

En adición, cabe añadir un dispositivo que controle los flujos de energía que se producen en la instalación y que, a su vez, sea capaz de evitar el vertido eléctrico a la red. Este dispositivo elegido es Fronius Smart Meter TS:



Ilustración 61: dispositivo Smart Meter

6.3 Características particulares de la instalación: aerogeneradores

6.3.1 Cálculos estructurales

Según la norma UNE-EN 61400-1, se indica que la estructura debe estar diseñada para garantizar su integridad estructural durante, al menos, 20 años tras la finalización de los trabajos. En relación con lo anterior, es necesario realizar una serie de análisis siendo el más determinante el que sigue:

- Análisis del estado límite terminante

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- Cargas soportadas por la estructura
 - Peso propio
- Carga aerodinámica del rotor
- Carga aerodinámica de la torre

Por último y previo al estudio de las cargas, se ha de considerar las condiciones más desfavorables en lo referente a la combinación de cargas tal y como se dedujo en la ilustración 45 (teniendo en cuenta que las cargas del rotor y de la torre, son cargas de empuje de terreno):

$$Q_{cargas} = 1.35 * Peso + 1.35 * F_{rotor} + 1.35 * F_{torre} (Ec. 35)$$

Así pues, se procede al estudio de cada una de estas cargas. Previamente, se indica en la ilustración 62, las partes generales en las que se divide el aerogenerador:

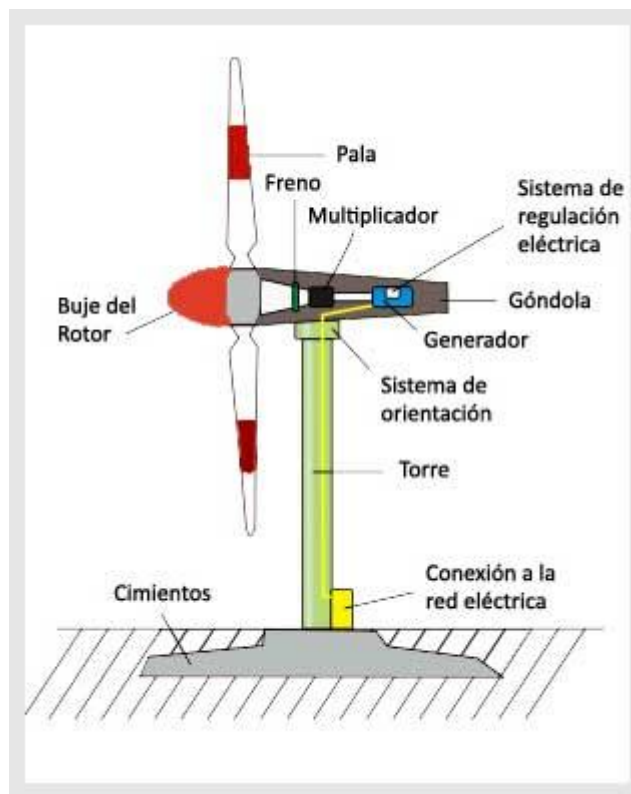


Ilustración 62: explosión de las diferentes partes de un aerogenerador estándar

6.3.1.1 Cargas soportadas por la estructura

6.3.1.1.1 Peso propio

Se debe tener en cuenta tanto el peso de la góndola como el peso de la torre:

Por una parte, el peso de la góndola se define como:

$$P_{góndola} = m_{góndola} * g = 1000 * 9.81 = 9810 N (Ec. 36)$$

El peso de la torre conlleva mayor complejidad ya que, aunque su definición es la misma que con la góndola, su interior no es macizo. De esta forma:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

$$P_{torre} = m_{torre} * g = \rho * V_{torre} * g = (\rho * g * \pi * h * \frac{e_t * (2r + R - e_t) + e_b * (r + 2R - e_t) - e_b^2}{3}) = (Ec. 37)$$

Siendo:

- h, la altura de la torre = 15m
- R, el radio de la base=0.25m
- r, el radio en el parte superior de la torre=0.125m
- e_t , espesor del acero en la parte superior=15mm
- e_b , espesor del acero en la base=15mm
- ρ , la densidad del acero = 7850 kg/m³
- g, la constante de la gravedad

El material escogido para la construcción de la torre es el acero S235JR, cuyas propiedades mecánicas se muestran en la siguiente tabla (norma UNE-EN 10025):

Tabla 38: propiedades mecánicas del acero según el espesor

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

Considerando un espesor estándar de 15 mm en la parte superior e inferior de la torre y sustituyendo en la ecuación 37, se obtiene 19596.6 N o 1997.61 kg.

6.3.1.2 Carga aerodinámica del rotor

Esta carga viene dada por la siguiente relación:

$$F_{rotor} = \frac{1}{2} * \rho * V_{viento}^2 * A_{rotor} * C_e = (Ec. 38)$$

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Siendo:

- C_e , el coeficiente de empuje del viento sobre las palas
- A_{rotor} , área abarcada por el rotor=75.4 m²
- ρ , la densidad del aire=1.225 kg/m³

El coeficiente puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$C_e = \Omega * \frac{R_{rotor}}{V_{viento}} = (Ec. 39)$$

Siendo:

- Ω , la velocidad angular del rotor

Para el caso más desfavorable, es decir, en el que la velocidad del viento es muy elevada, el rotor por seguridad se para, por lo que su velocidad es cero.

Según la ficha técnica del Enair 200L, la velocidad terminal es de 30 m/s, por lo que se puede estimar el coeficiente de empuje según el Instituto finlandés meteorológico, de 0.02:

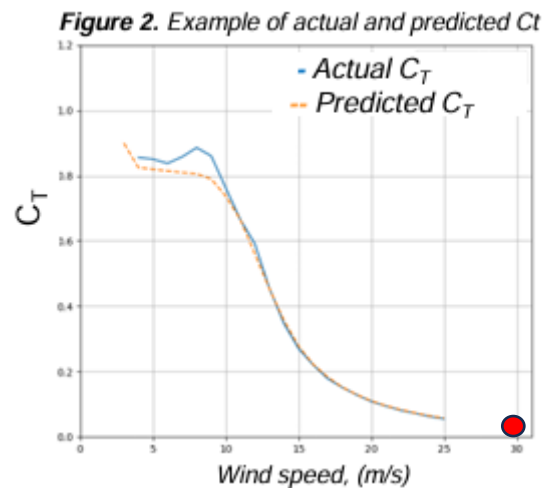


Ilustración 63: coeficiente de empuje en función de la velocidad del viento

Para el cálculo de la velocidad del viento se hace uso de la normativa UNE-EN 61400-1 (Sistemas de generación de energía eólica):

Clase de aerogenerador	I	II	III	IV
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	30
V_{ave} (m/s)	10	8,5	7,5	6

Ilustración 64: clase de aerogenerador según la normativa UNE-EN 61400-1

Siendo:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- V_{ave} , la velocidad media anual a la altura del buje =4.70 m/s (según programa de Enair)
- V_{ref} , la velocidad de referencia del viento promediada en 10 minutos.

Por tanto, según la ilustración 64, dado que la V_{ave} =4.70 m/s, la clase del aerogenerador es clase IV, con V_{ref} =30 m/s.

La velocidad del viento se define como:

$$V = 1.4 * V_{ref} = 1.4 * 30 = 42 \frac{m}{s} (Ec. 40)$$

Sustituyendo, se obtiene $F_{rotor} = 1629.31 N$

6.3.1.3 Carga aerodinámica de la torre

Esta carga viene definida por la siguiente ecuación:

$$F_{torre} = \frac{1}{2} * \rho * V_{e50}(z)^2 * D(z) * h * C_d (Ec. 41)$$

Siendo:

- ρ , la densidad del aire
- V_{e50} , la velocidad del viento con periodo de recurrencia
- D, el diámetro del cilindro
- h, la altura de la torre
- C_d , el coeficiente de arrastre
- z, barrido de la altura de la torre

Para el cálculo de la carga, se hace uso del criterio del modelo de velocidad extrema del viento (EWM), el cual define la velocidad con un periodo de recurrencia de vientos extremos de 50 años de la siguiente manera:

$$V_{e50}(z) = 1.4 * V_{ref} * (z/15)^{0.11} = 1.4 * 30 * \left(\frac{z}{15}\right)^{0.11} (Ec. 42)$$

Y el diámetro:

$$D(z) = D_{base} - \frac{D_{base} - D_{superior}}{h} * z = 0.5 - \frac{0.5 - 0.25}{15} * z (Ec. 43)$$

El coeficiente de arrastre depende del número de Reynolds, pudiéndose obtener de la ilustración 65:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

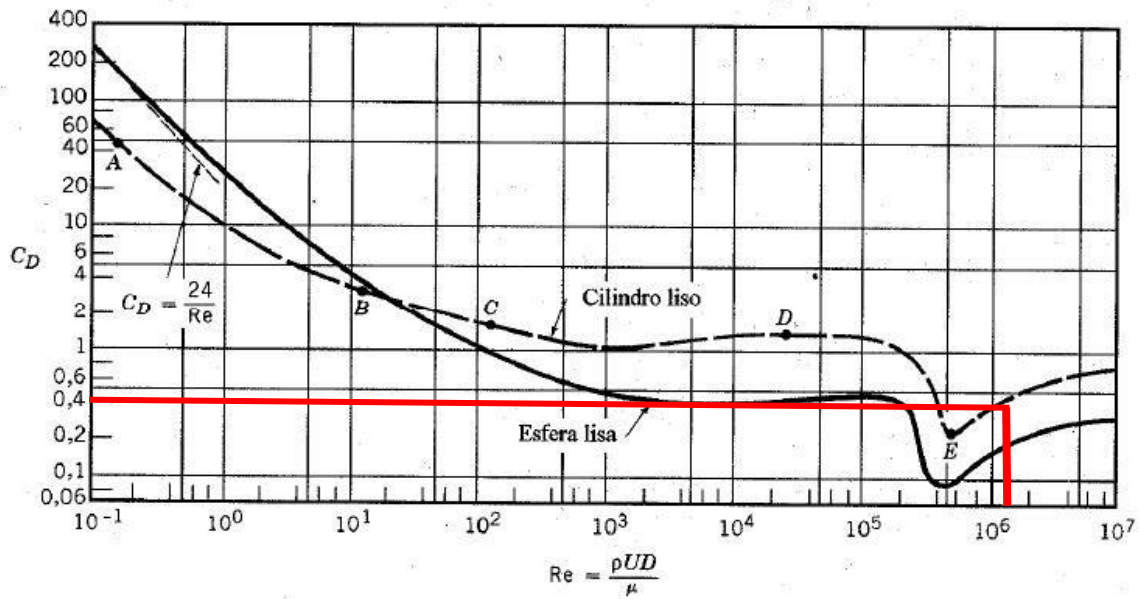


Ilustración 65: coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds (Millares, septiembre de 2017)

El número de Reynolds a su vez depende de los siguientes términos:

$$Re = \rho_{aire} * V * \frac{D_{base}}{\mu_{aire}} = 1.225 * 42 * \frac{0.5}{1.8 * 10^{-5}} = 1.429 * 10^6 (Ec. 44)$$

Cortando el valor en la Ilustración 65, se obtiene un $C_d \approx 0.4$.

6.3.1.4 Esfuerzos soportados por la estructura

Asumiendo que todos los esfuerzos soportados se producen en la base, se puede considerar el aerogenerador como una viga en voladizo, con empotramiento en la base.

De esta forma, se tienen tres reacciones ya que se impiden todos los grados de libertad:

$$N = P_{g\acute{o}ndola} + P_{torre} = 29406.6 N (Ec. 45)$$

$$Q = F_{rotor} + \int_0^z F_{torre} dz = 1629.31 + 29340.177 = 30969.48 N (Ec. 46)$$

$$M = F_{rotor} * h + \int_0^z F_{torre} z * dz = 24439.65 + 219799.11 = 244238.76 N * m (Ec. 47)$$

Sustituyendo con los coeficientes de las combinaciones de cargas, se obtiene:

$$\begin{aligned} Q_{cargas} &= 1.35 * Peso + 1.35 * F_{rotor} + 1.35 * F_{torre (z=15)} \\ &= 1.35 * 29406.6 + 1.35 * 1629.31 + 1.35 * 1685.50 = 44173.90 N (Ec. 48) \end{aligned}$$

6.3.2 Selección de los inversores

Tal y como ocurría con la parte fotovoltaica, es necesario realizar una búsqueda de inversores adecuados según las características establecidas en la tabla 20.

Según se obtuvo, el aerogenerador tiene una potencia de 10 kW, por lo que el inversor debe tener potencias cercanas a esta (sin tener en cuenta el factor de dimensionamiento que se aplicó en la parte fotovoltaica). Así, de la misma manera que ocurría con los inversores de los módulos fotovoltaicos, es necesario en este punto realizar un análisis de fabricantes que cumplan con los requisitos, pero esta vez para los aerogeneradores. Así:

Tabla 39: selección de fabricantes de inversores eólicos

Fabricante	Modelo	Potencia Entrada (kW)	Eficiencia (%)	Garantía (años)	Fiabilidad	Precio (€)
Deye	SUN-10K-SG04LP3-EU	13	97	10	Buena	2550
FLTNXY	WWGIT100	10	96	5	Normal	4132.68

Se escoge como inversor el de la marca **Deye**, por su reducido precio, buena fiabilidad y superior eficiencia. En adición, este inversor tiene 3 strings por cada 2 MPPT, suficientes para los dos únicos terminales que habrá en este parte de la instalación. Otras características de este inversor aparecen a en la tabla 40:

Tabla 40: características del inversor Deye SUN-10K-SG04LP3-EU

Entradas CC	
Rango de voltaje MPPT (V)	[200-650]
Número de MPPT	2
Corriente máxima de entrada por MPPT (A)	39
Nº de strings por MPPT	3
Salidas CA	
Frecuencia nominal (Hz)	50/60
Corriente nominal (A)	22.7

6.3.3 Diseño del layout

En este caso, al tratarse de un único elemento generador de energía eléctrica y, por ende, de un inversor, el diseño layout se simplifica. Cabe tener en cuenta una serie de factores:

- El diámetro del conjunto rotor-palas (9.8 m) para ubicarlos correctamente en su zona.
- Situar el aerogenerador, lo más cercano posible al inversor para abaratar costes de cableado.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- La longitud de la torre para este tipo de aerogenerador se fija en torno a los 15 m, se tomará este valor para su diseño.
- Los cables azules (terminal positivo) y rojo (terminal negativo), transcurren por la torre del aerogenerador y mediante zanja se dirigen al inversor.

El diseño final queda de la siguiente manera:

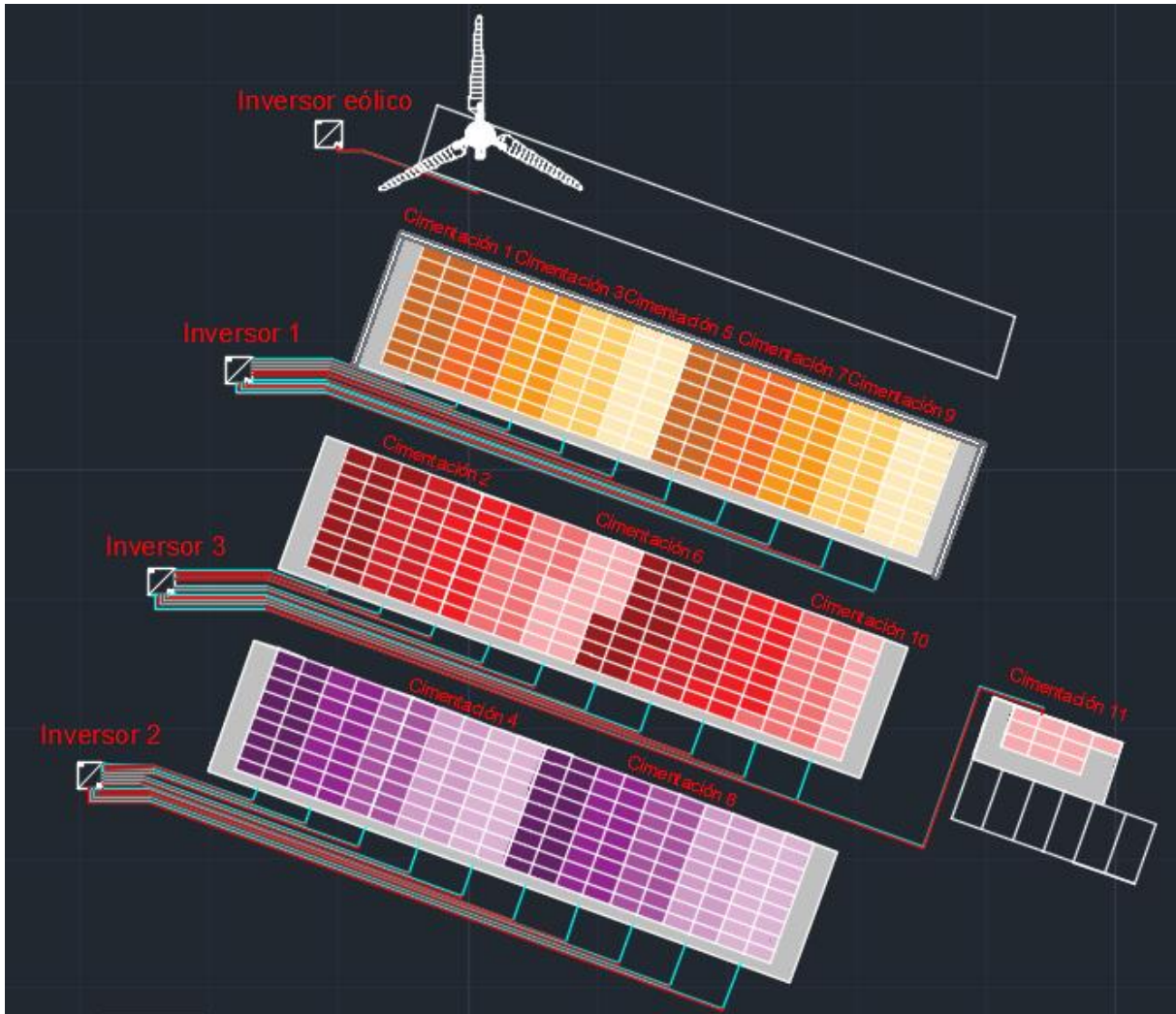


Ilustración 66: diseño layout definitivo de producción eólica-fotovoltaica

6.3.4 Selección del cableado

En esta sección, al igual que ocurría con la fotovoltaica, se trata seleccionar el cableado adecuado para el aerogenerador *Enair 200L*.

En este caso, el cálculo de las distancias es más sencillo, ya que únicamente se tienen los cables de terminal positivo y negativo que se dirigen al inversor.

Corriente continua

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 41:distancias de cable en corriente continua hacia el inversor

String	Distancia Cable "positivo" (m)	Distancia Cable "negativo" (m)	Suma total (m) (incluida distancia de cimentación) ⁹
D_Inversor_eólico	11.78	12.04	38.82

El modo de operación será idéntico al caso fotovoltaico.

Corriente continua: Intensidad máxima de los Strings

De acuerdo con la normativa se hará uso del material **cobre** para la confección de los cables.

En primer lugar, para el criterio de la intensidad máxima se aplica la norma UNE 20460-7-712. Así:

$$I_{cab_{strings}} \geq 1.25 * I_{sc} = 1.25 * 150 = 187.5A \text{ (Ec. 49)}$$

En la tabla C.1.1 de la especificación AENOR EA 0038 se puede encontrar un valor de sección de 50 mm².

Corriente continua: caída de tensión máxima del String

Por recomendaciones de ASIF, se debe aceptar una caída de tensión máxima en los cables de CC del 1% con los cables que van desde los módulos hasta el inversor. De esta forma, asumiendo un $\Delta v_{string} \leq 0.75\%$:

$$S_{string} \geq \frac{2 * L_{string} * I_{sc}}{\left(\frac{\Delta V_{string}(\%)}{100}\right) * \sigma(Tmax) * V_{oc}} = \frac{2 * 38.82 * 150}{\frac{0.75}{100} * 44 * 400} = 88.22mm^2 \text{ (Ec. 50)}$$

Se elabora una tabla:

Tabla 42:sección del cable de corriente continua para el aerogenerador

String	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)
Inversor_eólico	88.22	95

Por tanto, el criterio más desfavorable es el de **caída de tensión** puesto que es del que se obtienen mayores secciones.

Corriente continua: pérdidas

Las pérdidas de potencia del string se puede calcular como:

⁹ Distancia de cableado: los cables de CC, transcurren por la torre del generador (15m) y se dirigen por zanja al inversor.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

$$P_{string} = \frac{2 * L_{string} * I_{sc}^2}{\sigma(T_{max}) * S_{string}} = \frac{2 * 38.82 * 150^2}{44 * 95} = 417.91 \text{ W (Ec. 51)}$$

Tabla 43: pérdidas del cable de corriente continua para el aerogenerador

String	Pérdidas (W)
Inversor_eólico	417.91

El porcentaje de pérdidas en función de la potencia total eólica generada es de:

$$\%pérdidas = \left(\frac{417.91}{10000} \right) * 100 = 4.179\% \text{ (Ec. 52)}$$

Corriente alterna para cuadro de protección y medida

Con respecto a la corriente alterna se tiene:

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: intensidad máxima

Aplicando la norma ITC-BT40 y sabiendo que:

- $V_{g\phi\phi} = 400 \text{ V}$ (tensión de red trifásica)
- $I_{g_{rmsN}} = 22.7 \text{ A}$ (corriente nominal del inversor)
- L_{ca} = (distancia desde los inversores al cuadro AC previo al cuadro general de baja tensión situado del edificio más cercano: Guillem Cifre de Colonya)

Tabla 44: distancia de cable desde el inversor eólico hacia el cuadro AC de baja tensión

Inversor	Distancia Lca (m)
Inversor_eólico	145

La primera restricción que se debe cumplir es la siguiente:

$$I_{cab_{CA}} \geq 1.25 * I_{g_{rmsN}} = 1.25 * 22.7 = 28.37 \text{ A (Ec. 53)}$$

De nuevo de la tabla A52-2 bis de la norma 20460-5-523, con una intensidad mínima de 35 A, se tiene una sección de 4 mm² (XLPE3, D) (Figueres, 2015, diapositiva 36):

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ANEXO
TABLA A.52-B1 (UNE 20460-5-523)
Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia	Tabla y columna				
	Intensidad admisible para los circuitos simples				
	Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		
Número de conductores					
2					
3					
Conductores aislados en un conductor en una pared térmicamente aislante	A1	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 6
	A2	Tabla A.52-1 bis columna 3	Tabla A.52-1 bis columna 2	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5
Conductores aislados en un conductor sobre una pared de madera o mampostería	B1	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8
	B2	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 7
Cables unipolares o multipolares sobre una pared de madera o mampostería	C	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 11	Tabla A.52-1 bis columna 9
	D	Tabla A.52-2 bis columna 3	Tabla A.52-2 bis columna 4	Tabla A.52-2 bis columna 5	Tabla A.52-2 bis columna 6
Cable multiconductor al aire libre Distancia al suelo no inferior a 0,5 veces el diámetro del cable	E	Tabla A.52-1 bis columna 9	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 12	Tabla A.52-1 bis columna 10
	F	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 13	Tabla A.52-1 bis columna 11
Cables unipolares espaciados al aire libre Distancia entre ellos como mínimo el diámetro del cable	G	---	Ver UNE: 20460-5-523	---	Ver UNE: 20460-5-523

M.A.R. Paloma -44-

Tabla A.52-2 bis
Intensidades admisibles en amperios
Temperatura ambiente 25 °C. en el terreno

Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
Cobre	1,5	20,5	17	24,5	21
	2,5	27,5	22,5	32,5	27,5
	4	36	29	42	35
	6	44	37	53	44
	10	59	49	70	58
	16	76	63	91	75
	25	98	81	116	96
	35	118	97	140	117
	50	140	115	166	138
	70	173	143	204	170
	95	205	170	241	202
	120	233	192	275	230
	150	264	218	311	260
185	296	245	348	291	
240	342	282	402	336	
300	387	319	455	380	
Aluminio	2,5	20,5	17	24,5	21
	4	27,5	22,5	32,5	27,5
	6	34	28	40	34
	10	45	38	53	45
	16	58	49	70	58
	25	76	62	89	74
	35	91	76	107	90
	50	107	89	126	107
	70	133	111	156	132
	95	157	131	185	157
	120	179	149	211	178
	150	202	169	239	201
	185	228	190	267	226
240	263	218	309	261	
300	297	247	349	295	

Ilustración 67: tabla A-52-2 BIS (intensidades y secciones en función de la instalación de referencia)

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: caída de tensión máxima

Para este criterio se asume que:

- $\cos \varphi \cong 1$
- $\Delta V_{ca}(\%) \leq 1.5\%$

Se tiene para el inversor:

$$S_{CA3\phi} \geq \frac{\sqrt{3} * L_{ca} * I_{g_{rmsN}} * \cos \varphi}{\frac{\Delta V_{ca}(\%)}{100} * \sigma(T_{max}) * V_{g\phi\phi}} = \frac{\sqrt{3} * 145 * 22.7 * 1}{\frac{1.5}{100} * 44 * 400} = 21.59 mm^2 \text{ (Ec. 54)}$$

Tabla 45: sección del cable de corriente alterna para el aerogenerador

Inversor	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)
Inversor_eólico	21.59	25

Se escoge el criterio de **caída de tensión** al obtener mayores secciones de cable.

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: pérdidas

Para las pérdidas en corriente alterna se tiene, considerando trifásico:

$$P_{CA} = \frac{3 * L_{ca} * I_{g_{rmsN}}^2}{\sigma(T_{max}) * S_{ca}} = \frac{3 * 145 * 22.7^2}{44 * 25} = 203.77 W \text{ (Ec. 55)}$$

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 46: pérdidas del cable de corriente alterna para el aerogenerador

Inversor	Pérdidas (W)
Inversor_eólico	203.77

El porcentaje de pérdidas será:

$$\%pérdidas = \left(\frac{203.77}{10000} \right) * 100 = 2.03\% \text{ (Ec. 56)}$$

En cuanto al cable **empleado** se emplearán los mismos que para la parte fotovoltaica.

6.3.4 Protecciones y aparamenta eléctrica

Protecciones necesarias

Tal y como ocurría con las protecciones fotovoltaicas, para la parte de **corriente continua** de la instalación eólica de la instalación es recomendable instalar las siguientes protecciones:

Fusibles de protección de strings

Para la selección de los fusibles de protección de strings necesarios se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{MAX_{inversa}} \geq I_{fusible_n} \geq I_b = 187.5A \text{ (Ec. 57)}$$

Siendo:

- I_b : corriente de diseño de la instalación=1.25*Isc=187.5 A

Además, hay que tener en cuenta:

$$V_{fusible_n} \geq 1.2 * V_{oc} = 1.2 * 400 = 480V \text{ (Ec. 58)}$$

Según la norma IEC 60269, se opta para este tipo de fusibles, el fabricante *Crady*, modelo "AC-1 200A Gpv".

Este fusible cumple con las especificaciones calculadas. Pueden trabajar hasta 1000 VDC y aceptar una corriente nominal de 200 A.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Fusibles de cuchillas para instalaciones fotovoltaicas, con corriente 1000V DC y un poder de corte entre 33kA y 50kA. Capacidad de interrumpir sobrecorrientes de valores reducidos, asociadas a fallos en sistemas fotovoltaicos (corrientes inversas, fallos múltiples en el sistema,..).



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

- ✓ Voltaje: 1000 Vdc
- ✓ Rango de corriente: 40A – 630A
- ✓ Poder de corte: 33 kA – 50 kA
- ✓ Clase de servicio: gPV
- ✓ Constante de tiempo L/R: 1-3 ms.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- ✓ Cuerpo de cerámica MgO de alta resistencia
- ✓ Como medio de extinción del arco se utiliza arena de cuarzo SiO₂ de alta pureza tratada químicamente
- ✓ Contactos de cobre electrolítico bañado en estaño
- ✓ Tapas de aluminio
- ✓ Con indicador de fusión de níquel y cobre

Ilustración 68: ficha técnica del fusible de protección de strings seleccionado

Fusibles de protección del campo

Al igual que ocurría con los fusibles de protección de strings, para la protección del inversor eólico, se distinguen distintas restricciones a cumplir:

Por una parte (para el caso más desfavorable):

$$I_{fusible_n} \geq N_p * I_b = 1 * 187.5 = 187.5 A \text{ (Ec. 59)}$$

A su vez, se ha de cumplir que:

$$V_{fusible_n} \geq 1.2 * V_{oc} = 480 V \text{ (Ec. 60)}$$

Se elige el fusible *SPFJ200* del fabricante *Littlefuse*, el cual cumple con las restricciones anteriores:

1000 V dc • 70–450 A • Full Range • Solar-Rated



Specifications

Voltage Rating	1000 V dc 600 V ac (125–450 A)
Amperage Rating	70–450 A
Interrupting Rating	Ac: 200 kAIC (125–450 A) Dc: 70–200 A: 20 kAIC 250–400 A: 10 kAIC 450 A: 20 kAIC
Time Constant	≤ 1ms
Material	Body: Melamine End Bells: Copper Alloy
Approvals	cULus (File:E339112), VDE (Cert No. 40033659)**
Applicable Standards	UL 248-1, UL 248-8, UL 248-19, IEC 60269-6
Environmental	RoHS Compliant
Country of Origin	Mexico

Ilustración 69: ficha técnica de los fusibles seleccionados para protección del campo fotovoltaico

Interruptores seccionadores

Para este tipo de interruptores, se selecciona el mismo que para las protecciones fotovoltaicas: *Lovato electric* (modelo GD032AT3).

Protección de sobretensiones

El inversor cuenta con protecciones contra las sobretensiones, por lo que no será necesario instalarlo.

Todos los elementos comentados anteriormente, serán conectados al inversor.

Para la parte de **corriente alterna** de la instalación se instalarán los mismos elementos que para la parte fotovoltaica.

Por su parte, también se instalará el dispositivo Smart Meter TS de Fronius para evitar verter producción a la red.

6.4 Características particulares de la instalación: puntos de recarga

6.4.1 Selección de cableado

Corriente alterna para cuadro de protección y medida

Con respecto a la corriente alterna se tiene:

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: intensidad máxima

Aplicando la norma ITC-BT40 y sabiendo que:

- $V_{g\phi\phi} = 400$ V (tensión de red trifásica)
- $I_{g_{rmsN}} = 32$ A (corriente nominal del inversor)
- L_{ca} = (distancia desde el cuadro AC previo al cuadro general de baja tensión situado del edificio más cercano: Guillem Cifre de Colonya a los puntos de recarga)

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- A modo de ilustración, se muestra la configuración de los puntos de recarga en la zona de estudio numerados:

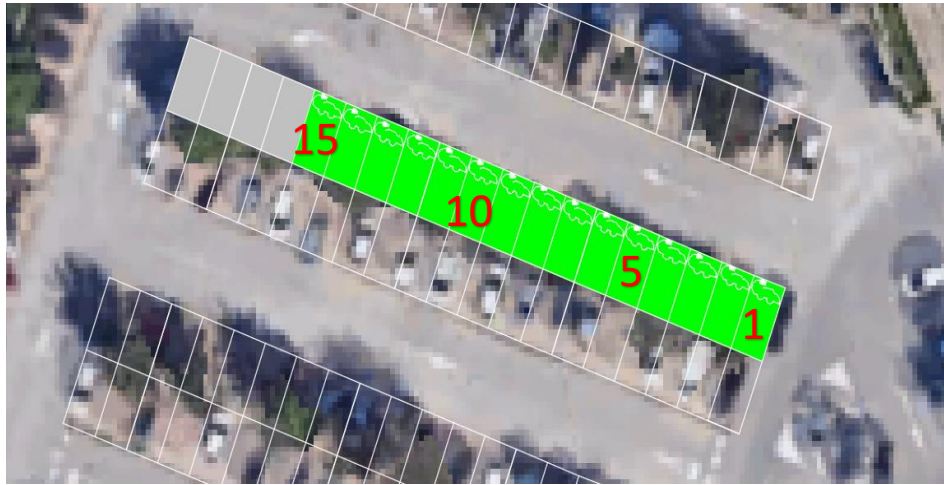


Ilustración 70: numeración de los puntos de recarga en la zona de estudio

Los datos de distancias de los puntos de recarga aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 47: distancias de cables desde los puntos de recarga hacia el cuadro de AC

Puntos de recargas	Distancia Lca (m)
1	85
2	87.5
3	90
4	92.5
5	95
6	97.5
7	100
8	102.5
9	105
10	107.5
11	110
12	112.5
13	115
14	117.5
15	120

La primera restricción que se debe cumplir es la siguiente:

$$I_{cab_{CA}} \geq 1.25 * I_{g_{rmsN}} = 1.25 * 32 = 40A \text{ (Ec. 61)}$$

De nuevo de la tabla A52-2 bis de la norma 20460-5-523, con una intensidad mínima de 44 A, se tiene una sección de 6 mm² (XLPE3, D) (Figueres, 2015, diapositiva 36):

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ANEXO
TABLA A52-B1 (UNE 20460-5-523)
Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia	Tabla y columna				
	Intensidad admisible para los circuitos simples		Aislamiento		
	Aislamiento		Aislamiento		
	PVC		XLPE o EPR		
	Número de conductores				
	2	3	2	3	
Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante	A1	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 3	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 6
Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante	A2	Tabla A.52-1 bis columna 3	Tabla A.52-1 bis columna 2	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5
Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera o mampostería	B1	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8
Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera o mampostería	B2	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 9	Tabla A.52-1 bis columna 7
Cables unipolares o multipolares sobre una pared de madera o mampostería	C	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 11	Tabla A.52-1 bis columna 9
Cable multiconductor en conducto enterrados.	D	Tabla A.52-2 bis columna 3	Tabla A.52-2 bis columna 4	Tabla A.52-2 bis columna 5	Tabla A.52-2 bis columna 6
Cable multiconductor al aire libre (Distancia al suelo no inferior a 0,3 veces el diámetro del cable)	E	Tabla A.52-1 bis columna 9	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 12	Tabla A.52-1 bis columna 10
Cables unipolares en contacto al aire libre (Distancia al suelo no inferior al diámetro del cable)	F	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 13	Tabla A.52-1 bis columna 11
Cables unipolares expuestos al aire libre (Distancia entre ellos como mínimo el diámetro del cable)	G	---	Ver UNE 20460-5-523	---	Ver UNE 20460-5-523

Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
D	Cobre				
	1,5	20,5	17	24,5	21
	2,5	27,5	22,5	32,5	27,5
	4	36	29	42	35
	6	44	37	53	44
	10	59	49	70	58
	16	76	63	91	75
	25	98	81	116	96
	35	118	97	140	117
	50	140	115	166	138
	70	173	143	204	170
	95	205	170	241	202
	120	233	192	275	230
	150	264	218	311	260
185	296	245	348	291	
240	342	282	402	336	
300	387	319	455	380	
D	Aluminio				
	2,5	20,5	17	24,5	21
	4	27,5	22,5	32,5	27,5
	6	34	28	40	34
	10	45	38	53	45
	16	58	49	70	58
	25	76	62	89	74
	35	91	76	107	90
	50	107	89	126	107
	70	133	111	156	132
	95	157	131	185	157
	120	179	149	211	178
	150	202	169	239	201
	185	228	190	267	226
240	263	218	309	261	
300	297	247	349	295	

Ilustración 71: tabla A-52-2 BIS (intensidades y secciones en función de la instalación de referencia)

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: caída de tensión máxima

Para este criterio se asume que:

- $\cos \varphi \cong 1$
- $\Delta V_{ca}(\%) \leq 1.5\%$

La sección para el primer punto de recarga sería:

$$S_{CA3\phi} \geq \frac{\sqrt{3} * L_{ca} * I_{g_{rmsN}} * \cos \varphi}{\frac{\Delta V_{ca}(\%)}{100} * \sigma(T_{max}) * V_{g\phi\phi}} = \frac{\sqrt{3} * 85 * 32 * 1}{\frac{1.5}{100} * 44 * 400} = 17.84 \text{mm}^2 \text{ (Ec. 62)}$$

Tabla 48:secciones de cable de corriente alterna

Puntos de recarga	Sección (mm ²)	Sección normalizada (mm ²)
1	17.84	25
2	18.37	25
3	18.89	25
4	19.41	25
5	19.94	25
6	20.46	25
7	21	25
8	21.51	25
9	22.04	25
10	22.56	25
11	23.09	25
12	23.61	25
13	24.14	35
14	24.66	35

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

15	25.19	35
----	-------	----

Por tanto, se escoge el criterio de **caída de tensión**.

Corriente alterna para cuadro de protección y medida: pérdidas

Para las pérdidas en corriente alterna se tiene, considerando trifásico (primer punto de recarga):

$$P_{CA} = \frac{3 * L_{ca} * I^2 g_{rmsN}}{\sigma(Tmax) * S_{ca}} = \frac{3 * 85 * 32^2}{44 * 25} = 237.38 W (Ec. 63)$$

Tabla 49: pérdidas de cable de corriente alterna

Puntos de recargas (largo plazo)	Pérdidas (W)
1	237.38
2	244.36
3	251.34
4	258.32
5	265.30
6	272.29
7	279.27
8	286.25
9	293.23
10	300.21
11	307.2
12	314.18
13	229.40
14	234.38
15	239.37
TOTAL	4012.48

El porcentaje de pérdidas será:

$$\%pérdidas = \left(\frac{4012.48}{330 * 10^3} \right) * 100 = 1.21\% (Ec. 64)$$

En cuanto al **cable** empleado se emplearán los mismos que para la parte fotovoltaica.

6.4.2 Protecciones y aparamenta eléctrica

Protecciones necesarias

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Para la parte de **corriente alterna** de la instalación se instalarán los mismos elementos que para la parte fotovoltaica, teniendo en cuenta que para el interruptor magnetotérmico las intensidades son distintas.

Interruptor automático magnetotérmico

Se escoge el modelo HMF480 de la marca Hager, con las propiedades de la tabla 50:

Tabla 50: características del interruptor automático escogido

Nº de polos	4
Intensidad nominal (A)	80
Tensión de aislamiento (V)	500
Tensión soportada al impulso (V)	6k



Ilustración 72: imagen del interruptor Hager escogido

6.5 Resultados globales

6.5.1 Potencia total generada

Como resultados globales de la potencia mixta generada, se tiene lo mostrado en la tabla 51:

Tabla 51: energía total generada por la instalación mixta al año

Energía total generada (kWh)	
Fotovoltaica	434210.61
Eólica	27092
TOTAL	461302.61

6.5.2 Pérdidas totales

Por su parte, las pérdidas totales de la instalación se muestran en la tabla 52:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 52: pérdidas totales de la instalación mixta al año

Pérdidas totales (W)	
Fotovoltaica	4021.81
Eólica	621.68
Puntos de recarga	4012.48
TOTAL	8655.97

6.5.3 Planificación de los trabajos

La duración de las tareas de ejecución de obras se muestra en la tabla 53:

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
Ejecución de las obras																
Prevención de riesgos laborales	Operarios															
Retirada de flora	Operarios															
Asfaltado	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios				
Cimentaciones y zanjas				Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios	Operarios				
Pintado de las plazas de aparcamiento													Operarios	Operarios		
Montaje de las marquesinas						Estructurista	Estructurista	Estructurista								
Colocación del aerogenerador						Estructurista										
Colocación de los paneles							Electricistas	Electricistas	Electricistas	Electricistas	Electricistas	Electricistas				
Colocación de los inversores							Electricistas									
Instalación de los puntos de recarga															Electricistas	Electricistas
Conexión de la instalación a la red																Electricistas

Tabla 53: planificación de trabajos

Leyenda		
Operarios	Estructurista	Electricistas
Operarios	Estructurista	Electricistas

6.5.4 Impacto visual

En este punto, se detalla los posibles impactos visuales de la instalación completa:

- Vista desde el Sur, Este, Norte y Oeste: las pérgolas son visibles ya que estarán situadas a 2-3 metros de altura sobre el nivel del suelo. Por su parte, el aerogenerador, es también completamente visible.
- Vista de pájaro: ambos elementos son totalmente visibles.
- Las líneas eléctricas discurrirán enterradas, por lo que no causarán impacto visual.

6.5.5 Impacto ambiental

La implantación de esta instalación conlleva una serie de ventajas:

- Evita la contaminación: tanto las placas como el aerogenerador transforman un recurso renovable (Sol y viento) en energía sin ningún tipo de emisión de residuos al ambiente.
- Se hace uso de un recurso ilimitado.
- Fomenta la economía local, generando puestos de trabajo.
- Reduce la compra de combustibles contaminantes, aumentando la independencia energética del país.

6.5.6 Gestión de residuos

Se desglosa a continuación, el listado de residuos generados en la obra, siguiendo la Lista Europea de Residuos (LER) según la Decisión 2014/995/UE (Asegre, s.f.):

- Residuos de envases: materiales de filtración, ropa de protección:

Tabla 54: descripción de residuos de envases y su respectivo código

DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CÓDIGO LER
15 01 01	Envases de papel y cartón
15 01 02	Envases de plástico
15 01 03	Envases de madera

- Residuos de construcción (excavación, canalizaciones):

Tabla 55: descripción de residuos de construcción y su respectivo código

DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CÓDIGO LER
17 01 01	Hormigón
17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos distintas de las especificadas en el código 17 01 06.
17 05 04	Tierra y piedra distintas de las especificadas en el código 17 05 03.

- Residuos de la flora de la parcela de estudio:

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 56: descripción de residuos de flora y su respectivo código

DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CÓDIGO LER
20 02 01	Residuos biodegradables.

Todos los residuos generados serán trasladados a sus respectivas plantas de recuperación/reciclaje. Por su parte, la flora de la parcela será trasladada a otro punto de la zona de la universidad.

7. Sistema de control y monitorización

Es importante que los operarios tengan a su disposición de equipos y otros elementos que les otorgue control sobre el funcionamiento de los sistemas en la instalación.

Por ello, para la parte fotovoltaica, el fabricante elegido para los inversores *Solax*, dispone de algunos instrumentos para este cometido.

En primer lugar, dispone de dispositivos de monitoreo DATAHUB 1000, un aparato que puede controlar la potencia producida por los inversores y monitorear los consumos. En concreto, se consigue que, si el sistema detecta que hay consumo de energía por parte de los cargadores, pone en acción el inversor (control DRM).

Además, incluye funcionalidades de almacenamiento de datos de gran capacidad, el control de ondulación CC y soporta el protocolo IEC104, permitiendo la visualización de los datos mediante la aplicación SolaxCloud.

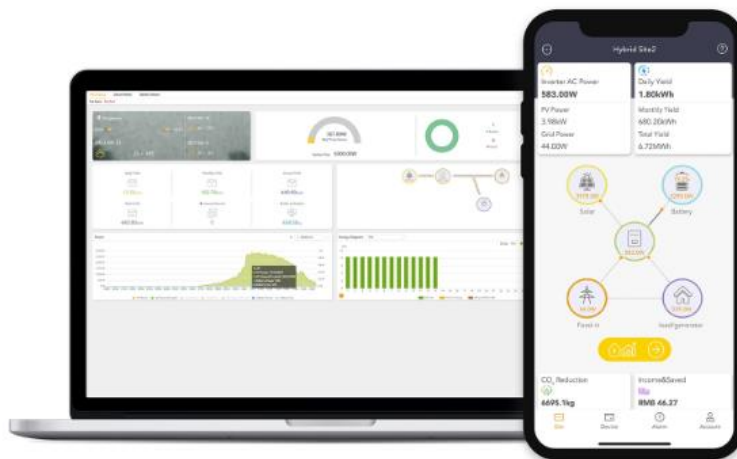


Ilustración 73: pantalla de monitorización del fabricante Solax

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Por otra parte, para la parte eólica, el fabricante Deye también dispone de una gran variedad de dispositivos para mantenimiento/control de los inversores.

Entre otros, se encuentra el Deye LSG-3, el cual es capaz de recopilar los datos de operación y generación de energía, permitiendo la visualización de los datos mediante la aplicación SOLARMAN APP.

Otro dispositivo interesante es el SUN-Limitador, el cual puede instruir al inversor para que disminuya su potencia activa, logrando una exportación cero.

Todos estos elementos son compatibles y visibles mediante la Plataforma de monitoreo inteligente:



Ilustración 74: pantalla de monitorización del fabricante Deye

8. Conclusiones

8.1 Proyecto

El principal objetivo de este proyecto ha sido determinar las características que debe tener una instalación de autoconsumo empleado para la recarga de vehículos eléctricos. Los resultados obtenidos con este objetivo han permitido obtener una serie de conclusiones:

- Se han analizado diferentes propuestas de instalaciones mixtas de energía en función de la potencia del aerogenerador a instalar, obteniendo que la más económicamente rentable es con el uso de un molino de viento de 10 kW.
- Se ha demostrado que el aerogenerador tiene su utilidad en la producción de energía, ya que este es más efectivo en épocas de invierno/otoño, momento en el que los módulos fotovoltaicos no obtienen altos puntos de rendimiento.
- Se han analizado las diferentes propiedades que caracterizan la instalación, tales como, potencia y fabricantes de los inversores/módulos, así como su implantación en la parcela de estudio, potencia y fabricante de los puntos de recarga, cálculos estructurales, secciones del cableado a emplear y control y monitorización de la instalación.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- Se ha realizado una estimación del tiempo total para la ejecución completa de la instalación, teniendo en cuenta, tareas de asfaltado, estructuración de los diferentes elementos, obteniendo un tiempo de 4 meses de ejecución.

8.2 Ampliaciones del proyecto

Como resultado del proyecto realizado, es posible también una ampliación del mismo:

- Dado que se ha estipulado la tarea de asfaltado para toda la parcela de estudio y que la instalación completa ocupa únicamente un porcentaje de la zona, ésta queda disponible para una ampliación dedicada, por ejemplo, a la incorporación de más módulos fotovoltaicos por cada tipología de aparcamiento, obteniendo de esta forma, mayores tasas de producción, que puede ser destinada, ya no solo a un número superior de puntos de recarga, sino también a sufragar los consumos eléctricos de edificios colindantes en la universidad.
 - Los excedentes energéticos producidos por esta ampliación podrían ser almacenados en baterías o vertidos a la red eléctrica.

9. Bibliografía

- Factorenergia (13 de marzo de 2023). *¿Quién inventó los paneles solares?*
[¿Quién inventó los paneles solares? | factorenergia](#)
- EcolInventos (22 de marzo de 2024). *Nueva pérgola solar con sistema de recuperación de agua de lluvia incorporado.*
[Nueva Pérgola Solar Con Sistema De Recuperación De Agua De Lluvia Incorporado \(ecoinventos.com\)](#)
- Nacho Reig (22 de junio de 2023). *El ayuntamiento adjudica la instalación de una pérgola solar en el patio del colegio municipal de Benimaclet.*
[El Ayuntamiento de València adjudica la instalación de una pérgola solar en el patio del colegio municipal de Benimaclet | Onda Cero Radio](#)
- Ruth Barrientos Díaz, (08 de noviembre de 2019). *Descubrimos a los precursores de la energía eólica.*
[Descubrimos a los precursores de la energía eólica | Siemens Gamesa | Día del inventor](#)
- BBVA (10 de abril de 2024). *Aerogeneradores: energía minieólica para tu negocio y tu casa.*
[Aerogeneradores: energía minieólica para tu negocio y tu casa \(bbva.com\)](#)
- Wikipedia (22 de enero de 2024). *Universidad de las Islas Baleares.*
https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_de_las_Islas_Baleares
- Abigail Orús (24 de mayo de 2024). *Evolución anual del número total de matriculaciones de vehículos eléctricos en España entre 2013 y 2023.*
[Vehículos eléctricos: matriculaciones en España 2013-2023 | Statista](#)
- EdpBlog (29 de junio de 2023). *Cuántos coches eléctricos y puntos de recarga hay en España: Cifras de movilidad eléctrica.*

» [Coches eléctricos en España · Informe de movilidad | Blog EDP \(edpenergia.es\)](#)

- Pedro Martín, Samuel Saco (02 de noviembre de 2023). *Solo el 5% de los coches eléctricos matriculados en España en lo que va de año son eléctricos.*
[Solo el 5% de los coches matriculados en España en lo que va de año son eléctricos \(elconfidencial.com\)](#)
- Dirección General de Tráfico (DGT). Ministerio del Interior. Parque Nacional de vehículos por comunidad autónoma, provincia, tipo de vehículo y tipo de carburante.
[Consulta BD OTLE: Parque nacional de vehículos por comunidad autónoma, provincia, tipo de vehículo y tipo de carburante \(fomento.gob.es\)](#)
- Joan Serra (22 de noviembre de 2023). *La venta de coches 100% eléctricos toma fuerza en Baleares y ya supera a todo 2022.*
[Coches eléctricos en Mallorca | Las ventas mejoran los números de todo 2022 \(ultimahora.es\)](#)
- Real Automóvil Club de España [RACE] (02 de septiembre de 2022). *Cómo son las baterías de los coches eléctricos.*
[¿Cómo son las baterías de los coches eléctricos? | RACE](#)
- Universitat de les Illes Balears (s.f.). *Portal de transparència.*
[La UIB en cifras - Indicadores - Transparència UIB - Universitat de les Illes Balears](#)
- Govern de les Illes Balears (s.f.) *Calendario laboral.*
[Calendario Laboral-Año 2024 \(caib.es\)](#)
- Ajuntament de Palma (4 de diciembre de 2002). *Ordenanza municipal de aparcamientos privados.*
https://www.palma.es/documents/39360/2334042/2_136531_2.pdf/54d997e7-156a-aaaa-6b2f-ff7b356098fc?t=1632323675257
- Policharger (08 de marzo de 2024). *Regulaciones sobre puntos de carga de vehículos eléctricos en estacionamientos.*
[Regulaciones sobre puntos de carga de vehículos eléctricos en estacionamientos - Cargadores de vehículos eléctricos POLICHARGER](#)
- Real Automóvil Club de España [RACE], (25 de agosto de 2022). *Los tipos de conectores que existen para los coches eléctricos.*
[Tipos de conectores de los coches eléctricos | RACE](#)
- Repsol (s.f.). *Tipos de cargadores de coches eléctricos.*
[Todos los tipos de cargadores de coches eléctricos | Repsol](#)
- Europa Press (diciembre de 2023). *El presupuesto de la UIB para 2024 se incrementa un 14.85% y alcanza los 171.9 millones de euros.*
<https://www.europapress.es/illes-balears/noticia-presupuesto-uib-2024-incrementa-1485-alcanza-1719-millones-euros-20231221142359.html>
- Calendarr (s.f.). *Estaciones del año en España.*
[Estaciones del año en España: cuáles son, fechas y características - Calendarr](#)
- Techno Sun (junio de 2022). *Listado de paneles solares Tier-1.*
[Listado paneles solares Tier-1 \(Actualizado Junio 2022 - Q2\) | Techno Sun - Distribuidor mayorista](#)
- Photovoltaic Geographical Information System [PVGIS], s.f.). *Herramientas interactivas.*

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

[JRC Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\) - European Commission \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/jrc/en/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis)

- Figueres, Emilio (2015). *Diseño de Instalaciones Fotovoltaicas conectadas a red [Diapositivas de PowerPoint]*. Portal de Poliformat.
<https://poliformat.upv.es/portal>
- Código Técnico de la Edificación (CTE) (s.f.). *Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación*.
<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>
- WeatherOnline (s.f.). *Medidor de clima*.
[Total de horas de sol - Mallorca - Medidor del clima Islas Baleares \(woespana.es\)](https://www.woespana.es/total-de-horas-de-sol-mallorca-medidor-del-clima-islas-baleares)
- Universitat Politècnica de València [UPV] (2023). *Diseño de una Instalación Fotovoltaica sobre la cubierta de la Etsit*.
- Finnish Meteorological Institute (s.f.). *Statistical Approximation of Thrust Coefficient (C_T)*.
https://presentations.copernicus.org/EGU21/EGU21-14402_presentation-h434262.pdf
- Agustín Millares, (septiembre de 2017). *Coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds*.
https://www.researchgate.net/figure/Figura-67-Coeficiente-de-arrastre-en-funcion-del-numero-de-Reynolds_fig7_320069163
- Asegre (s.f.). *LER-Listado Europeo de Residuos (Oficial)*.
<https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>
- Inti Energía Proyectos, S.L (2022). *Instalación de pérgola FV para autoconsumos de 132 kWn y 140.61 kWp con 14 puntos de carga para vehículos eléctricos*.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

DOCUMENTO 2

ESTUDIO ECONÓMICO

ÍNDICE DEL ESTUDIO ECONÓMICO

1. Presupuesto y mediciones.....	pág.107
1.1 Cuadros de precios.....	pág. 107
1.1.1 Cuadro de precios de la instalación fotovoltaica.....	pág. 108
1.1.2 Cuadro de precios de la instalación eólica.....	pág.109
1.1.3 Cuadro de precios de la instalación de los puntos de recarga.....	pág.110
1.1.4 Cuadro de precios de los trabajos adicionales.....	pág.111
1.2 Presupuesto	pág.112

1.1 Cuadros de precios

Tabla 1.P: Cuadro de precios de la instalación fotovoltaica

Nº	Designación	Unidad	Precio unitario (€/ud)	Cantidad	Precio total (€)
1	<u>Instalación Fovovoltaica</u>	-			1072209,27
1.1	<u>Cuadro de equipos</u>	-			
1.1.1	Módulo TrinaSolar modelo TSM-DE18 (II)	ud	127,48	550	70114,00
1.1.2	Marquesina simple modelo PVM2 (cada 2 plazas)	ud	7730	2	15460,00
1.1.3	Marquesina doble modelo PVM4 (cada 4 plazas)	ud	15460,99	9,5	146879,41
1.1.4	Inversor Solax X3-MGA-60K-G2	ud	2919,71	3	8759,13
SUMA					241212,54
1.1.5	<u>Equipo de monitoreo</u>	-			
1.1.5.1	Solax Power DataHUB 1000	ud	526,71	1	526,71
1.1.6	<u>Protecciones</u>	-			
1.1.6.1	Enertronic A85 Gpv	ud	2,85	62	176,70
1.1.6.2	Lovato Electric GD032AT3	ud	31,77	62	1969,74
1.1.6.3	Schneider modelo ID-RCCB	ud	1429,15	3	4287,45
1.1.6.4	Hager modelo HDA161L	ud	1114,85	3	3344,55
1.1.6.5	Schneider modelo LC1D09P7	ud	75,35	3	226,05
1.1.6.6	Schneider modelo RM35HZ21FM	ud	234,89	3	704,67
1.1.6.7	Legrand DPX3	ud	1301,8	3	3905,40
1.1.6.8	Schneider Electric modelo NSX250F	ud	1960,1	2	3920,20
1.1.6.9	Schneider Electric modelo NS1600NA	ud	3954,99	1	3954,99
SUMA					22489,75
1.1.7	<u>Conectores</u>	-			
1.1.7.1	Leader PV-BN101A	ud	0,5817	44	25,59
1.1.7.2	Leader LD-ES10	ud	0,5817	16	9,31
SUMA					34,90
TOTAL					264263,90
1.2	<u>Cuadro de maquinaria</u>	-			
1.2.1	Retroexcavadora sobre neumáticos con martillo rompedor	h	51,532	320	16490,24
2.2.2	Plataforma elevadora de tijera 3,9m-300 kg	h	10,38	120	1245,60
1.2.3	Camión con grúa autocargable hasta 6T	h	39,212	48	1882,18

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

1.2.4	Camión cisterna de 8m3 de capacidad	h	31,044	480	14901,12
TOTAL					34519,14
1.3	<u>Cuadro de materiales</u>	-			
1.3.1	Tubo PVC corrugado Ø90	m	1,73	1553,06	2686,79
1.3.2	Cableado Leader H1Z272-K	m	1,3495	1575,56	2126,22
1.3.3	Hormigón HNE-15/B/20	m3	69	1091,1684	75290,62
1.3.4	Hormigón HA-25/B/20/IIa	m3	116,183	39,6	4600,85
1.3.5	Contenedor de residuos	ud	108	5	540,00
TOTAL					85244,48
1.4	<u>Cuadro de mano de obra</u>	-			
1.4.1	Oficial 1º electricista (x2)	h	48,3	2688	129830,40
1.4.2	Ayudante electricista (x2)	h	39,72	2688	106767,36
1.4.3	Oficial 1º estructurista (x2)	h	49,06	2688	131873,28
1.4.4	Ayudante estructurista (x2)	h	41,78	2688	112304,64
1.4.5	Oficial 1º de obra civil (x2)	h	24,4	2688	65587,20
1.4.6	Ayudante de obra civil (x2)	h	20,76	2688	55802,88
1.4.7	Jefes de obra (x2)	h	16	2688	43008,00
1.4.8	Directores de obra (x2)	h	16	2688	43008,00
TOTAL					688181,76

Tabla 2.P: Cuadro de precios de la instalación eólica

Nº	Designación	Unidad	Importe		
			Precio unitario (€/ud)	Cantidad	Precio total (€)
2	<u>Instalación Eólica</u>	-			770680,34
2.1	<u>Cuadro de equipos</u>	-			
2.1.1	Aerogenerador Enair 200L 10kW	ud	18779,2	1	18779,20
2.1.2	Inversor Deye SUN-10K-SG04LP3-EU	ud	2550	1	2550,00
SUMA					21329,20
2.1.3	<u>Equipo de monitoreo</u>	-			
2.1.3.1	Deye LSG-3	ud	103	1	103
2.1.4	<u>Protecciones</u>	-			
2.1.4.1	Fusible Crady AC-1 200A	ud	9,35	2	18,70
2.1.4.2	Fusible Littlefuse SPFJ200	ud	142,77	2	285,54
2.1.4.3	Lovato Electric GD032AT3	ud	31,77	2	63,54
2.1.4.4	Schneider modelo ID-RCCB	ud	1429,15	1	1429,15
2.1.4.5	Hager modelo HDA161L	ud	1114,85	1	1114,85
2.1.4.6	Schneider modelo LC1D09P7	ud	75,35	1	75,35
2.1.4.7	Schneider modelo RM35HZ21FM	ud	234,89	1	234,89
2.1.4.8	Legrand DPX3	ud	1301,8	1	1301,80

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

2.1.4.9	Schneider Electric modelo NSX250F	ud	1960,1	2	3920,20
2.1.4.10	Schneider Electric modelo NS1600NA	ud	3954,99	1	3954,99
SUMA					12399,01
TOTAL					33831,21
2.2	<u>Cuadro de maquinaria</u>	-			
2.2.1	Retroexcavadora sobre neumáticos con martillo rompedor	h	51,532	320	16490,24
2.2.2	Plataforma elevadora de tijera 3,9m-300 kg	h	10,38	8	83,04
2.2.3	Camión con grúa autocargable hasta 6T	h	39,212	48	1882,18
2.2.4	Camión cisterna de 8m3 de capacidad	h	31,044	480	14901,12
TOTAL					33356,58
2.3	<u>Cuadro de materiales</u>	-			
2.3.1	Tubo PVC corrugado Ø90	m	1,73	157,04	271,68
2.3.2	Cableado Leader H1Z272-K	m	1,3495	172,04	232,17
2.3.3	Hormigón HNE-15/B/20	m3	69	207,7088	14331,91
2.3.4	Hormigón HA-25/B/20/IIa	m3	116,183	1,3	151,04
2.3.5	Contenedor de residuos	ud	108	3	324,00
TOTAL					15310,79
2.4	<u>Cuadro de mano de obra</u>	-			
2.4.1	Oficial 1º electricista (x2)	h	48,3	2688	129830,40
2.4.2	Ayudante electricista (x2)	h	39,72	2688	106767,36
2.4.3	Oficial 1º estructurista (x2)	h	49,06	2688	131873,28
2.4.4	Ayudante estructurista (x2)	h	41,78	2688	112304,64
2.4.5	Oficial 1º de obra civil (x2)	h	24,4	2688	65587,20
2.4.6	Ayudante de obra civil (x2)	h	20,76	2688	55802,88
2.4.7	Jefes de obra (x2)	h	16	2688	43008,00
2.4.8	Directores de obra (x2)	h	16	2688	43008,00
TOTAL					688181,76

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 3.P: Cuadro de precios de la instalación de los puntos de recarga

Nº	Designación	Unidad	Importe		
			Precio unitario (€/ud)	Cantidad	Precio total (€)
3	<u>Instalación de los puntos de recarga</u>	-			740375,38
3.1	<u>Cuadro de equipos</u>	-			
3.1.1	LugEnergy Pole 1 22kW	ud	2541	15	38115,00
3.1.2	<u>Protecciones</u>	-			
3.1.2.1	Hager modelo HMF480	ud	740,34	15	11105,10
TOTAL					49220,10
3.2	<u>Cuadro de maquinaria</u>	-			
3.2.1	Camión con grúa autocargable hasta 6T	h	39,212	4	156,85
3.2.2	Camión cisterna de 8m3 de capacidad	h	31,044	4	124,18
TOTAL	-	-			281,02
3.3	<u>Cuadro de materiales</u>	-			
3.3.1	Tubo PVC corrugado Ø90	m	1,73	820	1418,60
3.3.2	Cableado Leader H1Z272-K	m	1,3495	820	1106,59
3.3.3	Hormigón HA-25/B/20/IIa	m3	116,183	1,44	167,30
TOTAL					2692,49
3.4	<u>Cuadro de mano de obra</u>	-			
3.4.1	Oficial 1º electricista (x2)	h	48,3	2688	129830,40
3.4.2	Ayudante electricista (x2)	h	39,72	2688	106767,36
3.4.3	Oficial 1º estructurista (x2)	h	49,06	2688	131873,28
3.4.4	Ayudante estructurista (x2)	h	41,78	2688	112304,64
3.4.5	Oficial 1º de obra civil (x2)	h	24,4	2688	65587,20
3.4.6	Ayudante de obra civil (x2)	h	20,76	2688	55802,88
3.4.7	Jefes de obra (x2)	h	16	2688	43008,00
3.4.8	Directores de obra (x2)	h	16	2688	43008,00
TOTAL					688181,76

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
 EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
 SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Tabla 4.P: Cuadro de precios de los trabajos adicionales

Nº	Designación	Unidad	Importe		
			Precio unitario (€/ud)	Cantidad	Precio total (€)
4	<u>Trabajos adicionales</u>	-			
4.1	<u>Pintado de las plazas de aparcamiento</u>	ud	48	70	3360,00
4.2	<u>Recogida de residuos</u>	ud	95	16	1520,00
4.3	<u>Retirada de flora</u>	ud	95	40	3800,00
4.4	<u>Asfaltado de calzada</u>	ud	47,03	9700,4277	456211,11
4.5	<u>Canalización horizontal 10 tubos Ø90 en calzada</u>	ud	159,2	110,92	17658,46
4.6	<u>Canalización horizontal 12 tubos Ø90 en calzada</u>	ud	191,04	66,3	12665,95
4.7	<u>Canalización horizontal 15 tubos Ø90 en calzada</u>	ud	238,8	120	28656,00
4.8	<u>Canalización horizontal 1 tubo Ø90 en calzada</u>	ud	47,32	706,27	33420,70
TOTAL					557292,23

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

1.2 Presupuesto

Tabla 5.P: Presupuesto del proyecto

Presupuesto (Descripción por conceptos)	
Capítulo 1: Instalación fotovoltaica	1072209,27
Capítulo 1.1: Cuadro de equipos	264263,90
Capítulo 1.2: Cuadro de maquinaria	34519,14
Capítulo 1.3: Cuadro de materiales	85244,48
Capítulo 1.4: Cuadro de mano de obra	688181,76
Capítulo 2: Instalación eólica	688181,76
Capítulo 2.1: Cuadro de equipos	33831,21
Capítulo 2.2: Cuadro de maquinaria	33356,58
Capítulo 2.3: Cuadro de materiales	15310,79
Capítulo 2.4: Cuadro de mano de obra	688181,76
Capítulo 3: Instalación de los puntos de recarga	740375,38
Capítulo 3.1: Cuadro de equipos	49220,10
Capítulo 3.2: Cuadro de maquinaria	281,02
Capítulo 3.3: Cuadro de materiales	2692,49
Capítulo 3.4: Cuadro de mano de obra	688181,76
Capítulo 4: Trabajos adicionales	557292,23
PEM	3058058,64
(13 % de GG)	397547,62
(6% de BI)	183483,52
PEM+GG+BI	3639089,78
21% IVA	764208,85
PEC=PEM+GG+BI+IVA	4403298,63

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la cantidad de CUATRO MILLONES CUATROCIENTOS TRES MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y OCHO CON SESENTA Y TRES CÉNTIMOS.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

DOCUMENTO 3

PLANOS

ÍNDICE DE LOS PLANOS

1.1 Plano de ubicación del proyecto.....	pág. 115
1.2 Implantación, zanjas y strings.....	pág.116
1.3 Detalle del aerogenerador.....	pág.117
1.4 Detalle de las marquesinas.....	pág. 117
1.4.1 Detalle de marquesina doble.....	pág.118
1.4.2 Detalle de marquesina simple.....	pág.119
1.5 Detalle de los puntos de carga.....	pág.120
1.6 Esquema unifilar módulos fotovoltaicos (4 puntos de recarga).....	pág.121
1.7 Esquema unifilar aerogenerador (4 puntos de recarga).....	pág.122



Ubicación:

Carretera de Valldemossa, km 7.5, Nord, 07122
Palma, Illes Balears

Coordenadas:

39°38'17"N 2°38'53"E / 39.638055555556, 2.648055555556

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto:
PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO EÓLICA-FV EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

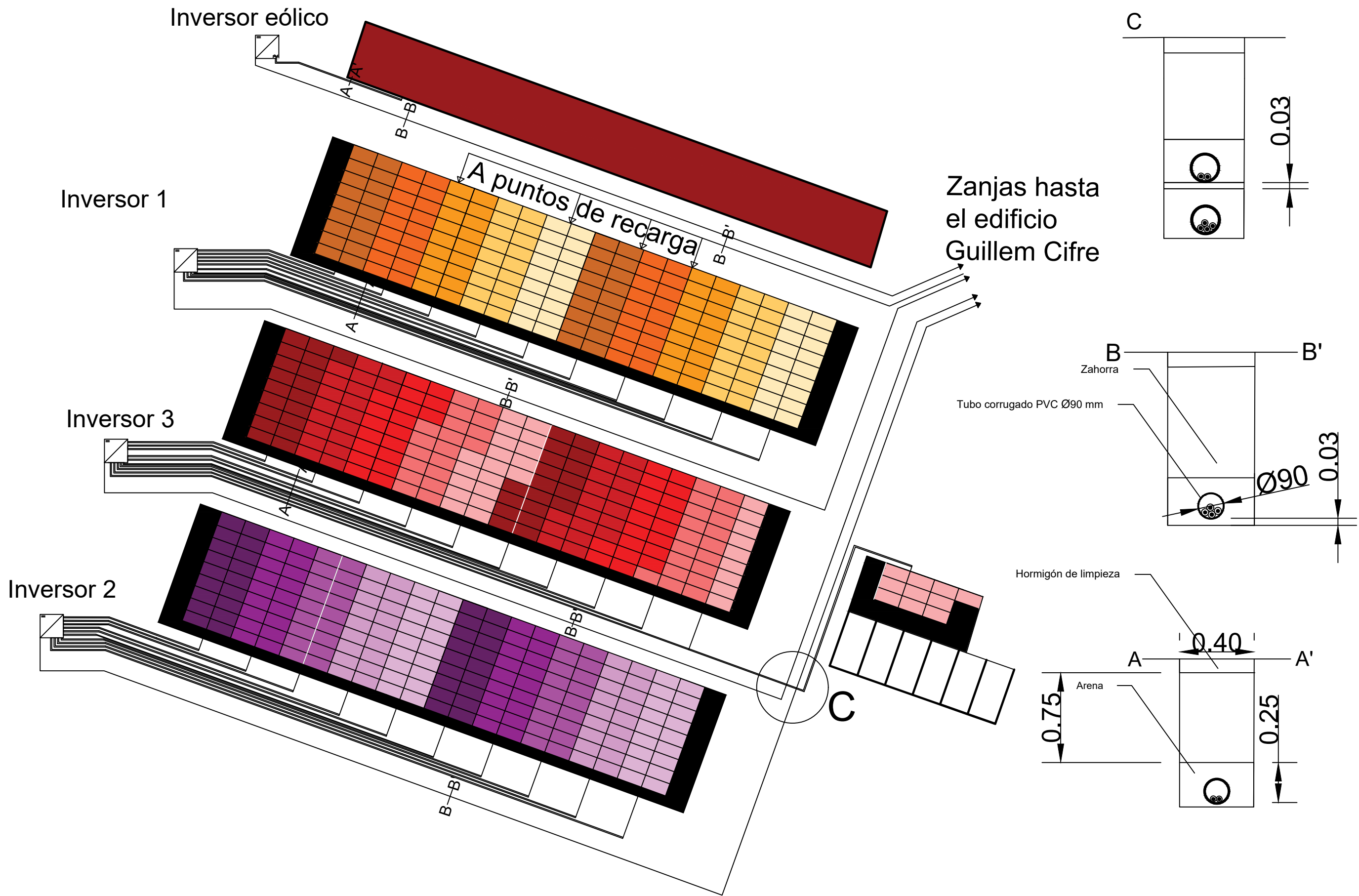
Plano: **Ubicación del proyecto**

Autor:
Adrián Oliver Martínez

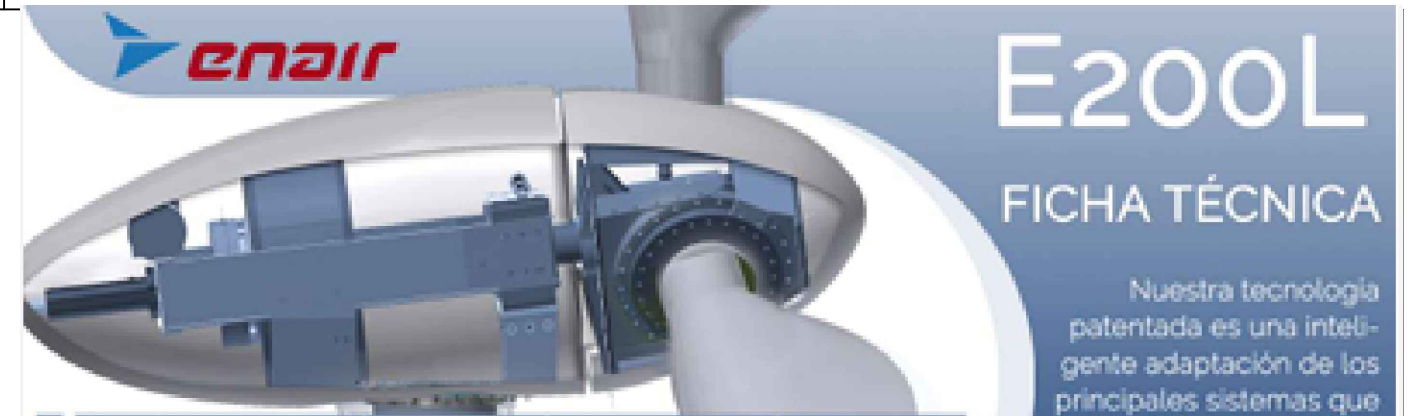
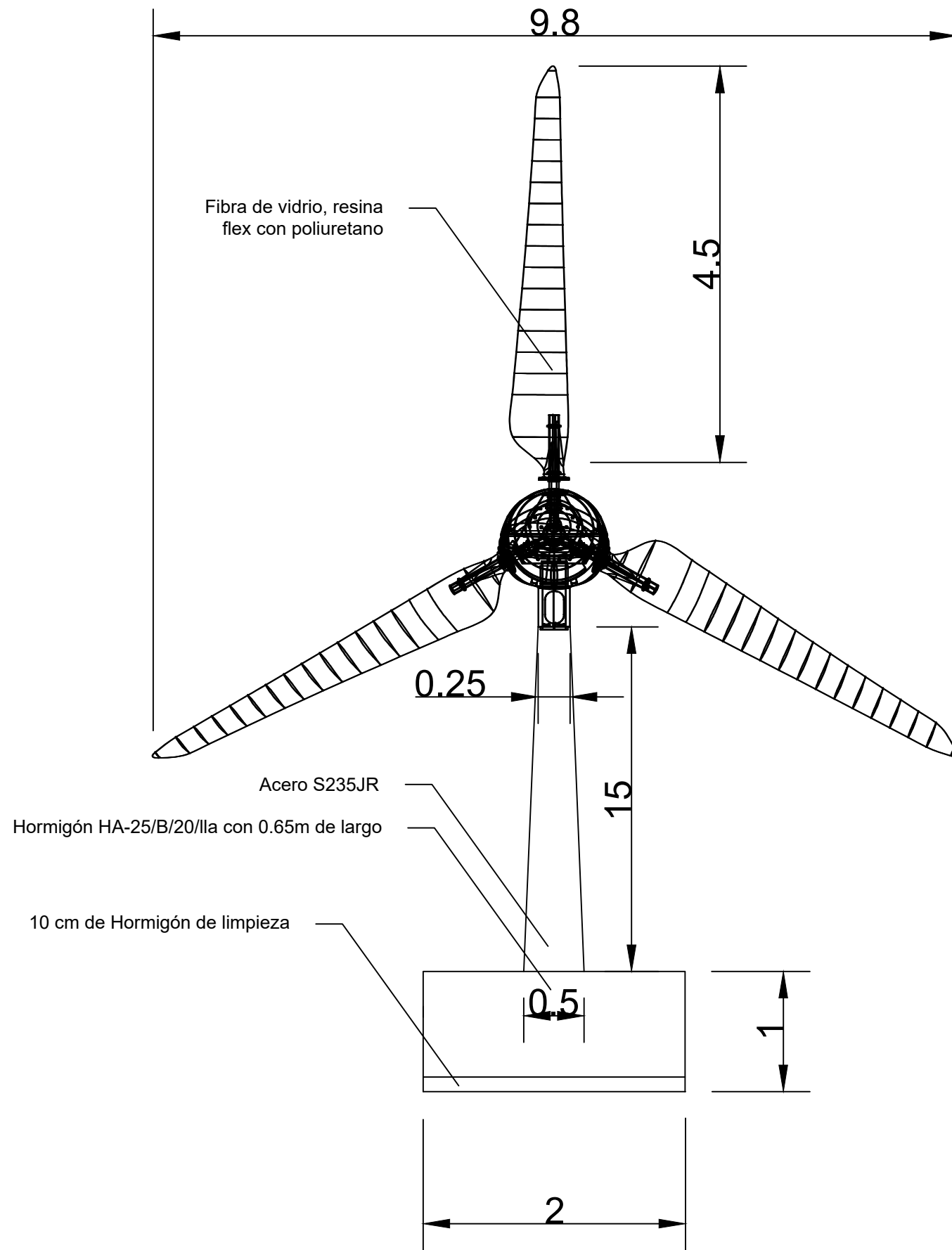
Fecha:
Mayo 2024

Escala:
1:100

Nº Plano:
1.1



DETALLE EN VISTA FRONTAL

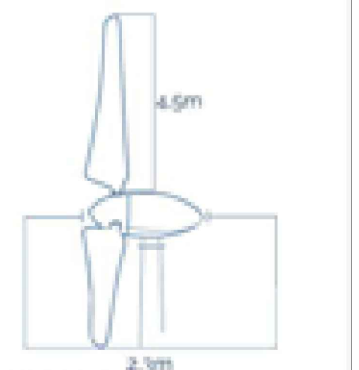
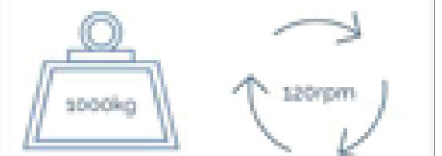
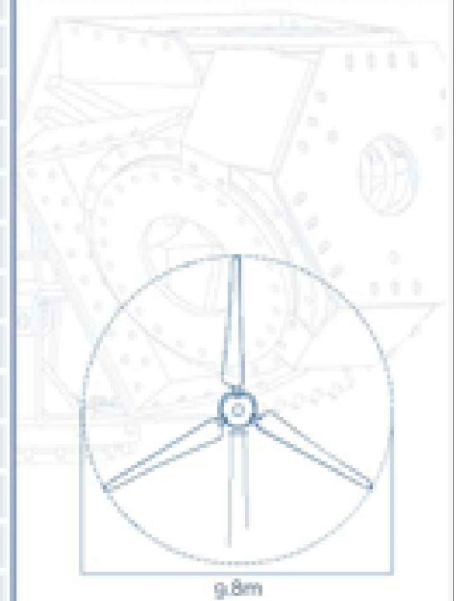


E200L FICHA TÉCNICA

Nuestra tecnología patentada es una inteligente adaptación de los principales sistemas que tiene la gran eólica adaptada a potencias de 10 a 60kW. Alta seguridad, máximo control y eficiencia

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

GENERADOR	Potencia	20kW
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal sobavento
	Potencia nominal	10kW - IEC 61400, limitada por software
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1.85m/s
	Corte producción	30m/s
	Protección	Ip-65/alta protección ambiental
	Peso	1000kg
ROTOR	Orientación	Orientación aerodinámica
	Díametro	9.8m
	Área de barrido	75.4m ²
	Longitud de pala	4.5m
	Material de pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
	Tipo de control	Paso variable activo, regul. electrónica y freno
SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO	Paso	Paso variable con control activo Por viento y potencia
	Freno	Freno electromecánico de seguridad
	Control electrónico de:	- Velocidad de viento - Temperatura (opc.) - Voltaje - Fallos en la red - Fallo de sensores
CONTROL DE LA TURBINA	Sistema electrónico	Sistema programable para adaptar la turbina Registro de alarmas
	Software	Software personalizado. Pantalla datos (opc.)
INVERSORES	Inversor	Compatible con los inversores solares de tensión constante a 500V



Avenida de Ibi, 44 - PO. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto: PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO EÓLICA-FV EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Plano: Detalle del aerogenerador Enair 200L

Autor: Adrián Oliver Martínez

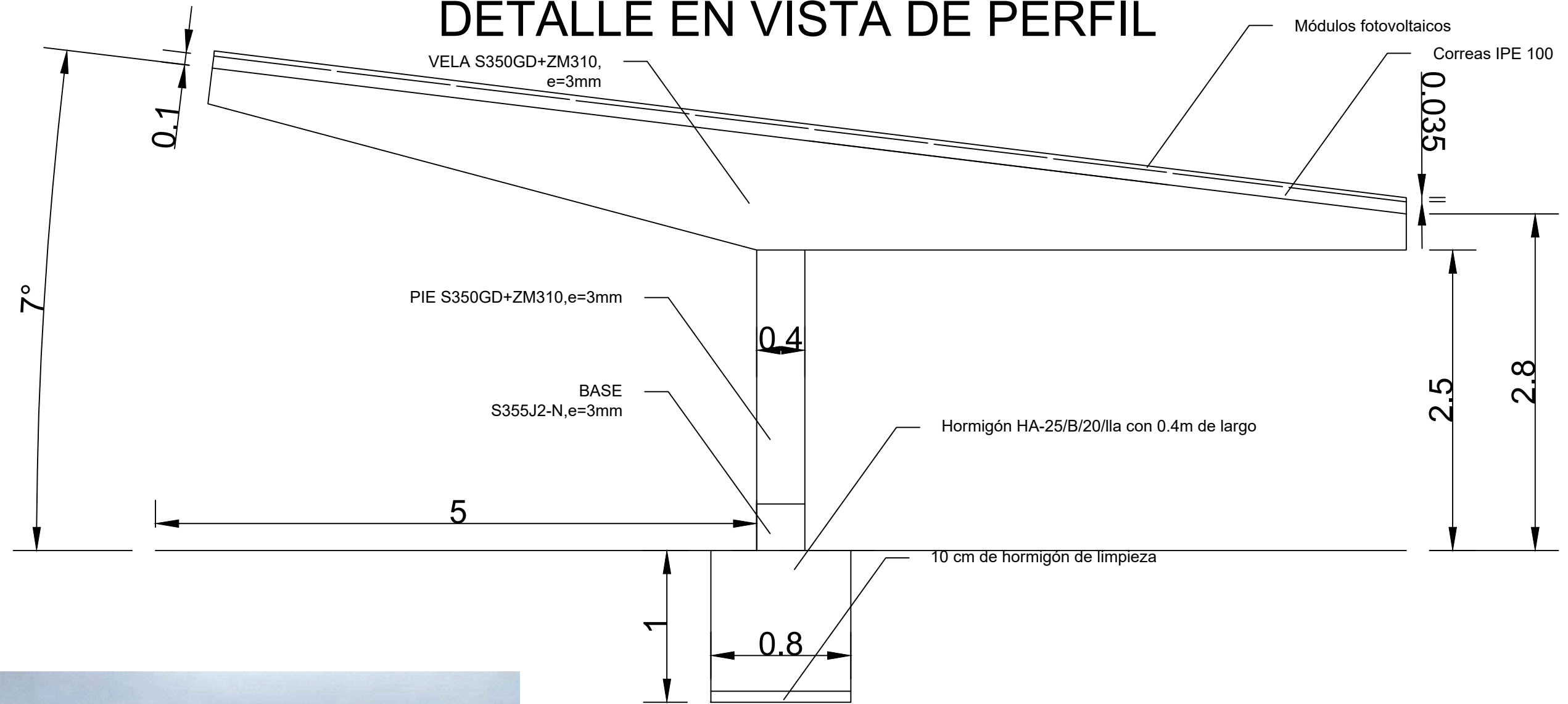
Fecha: Mayo 2024

Escala: 1:120

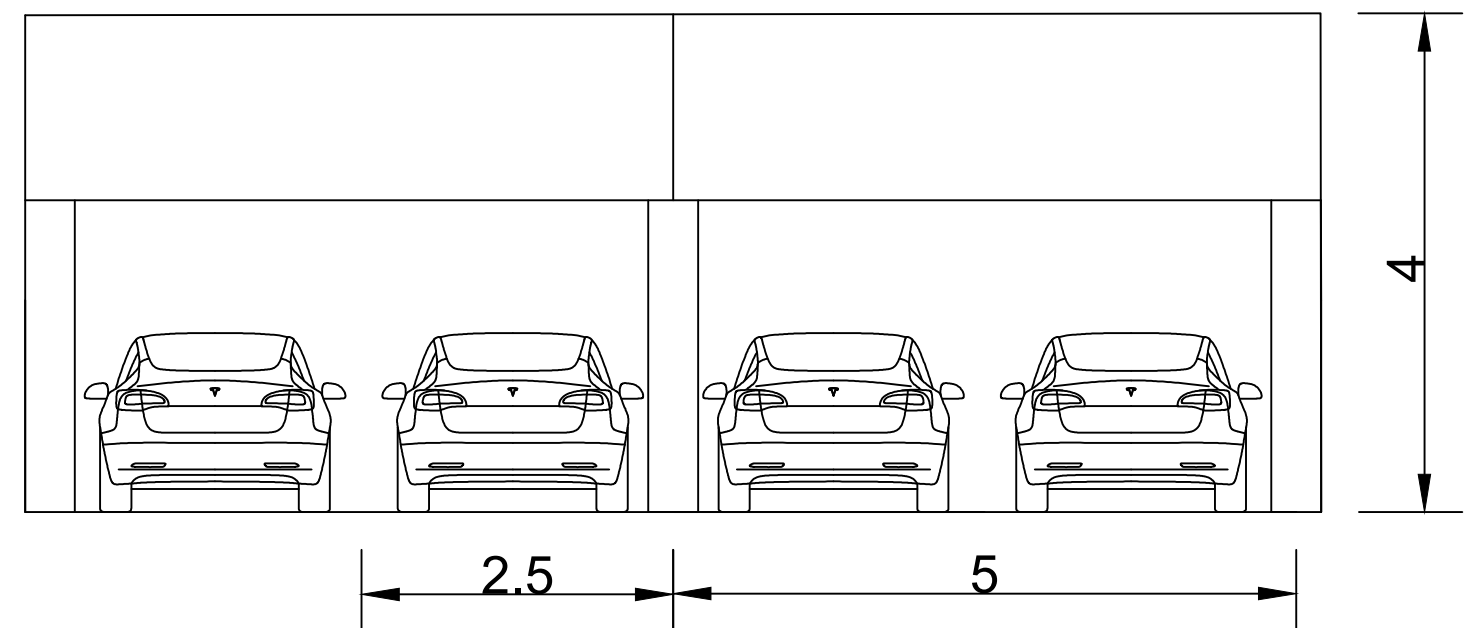
Nº Plano:

1.3

DETALLE EN VISTA DE PERFIL



DETALLE EN VISTA FRONTAL



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto: PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO EÓLICA-FV EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Plano: Detalle de la marquesina doble

Autor: Adrián Oliver Martínez

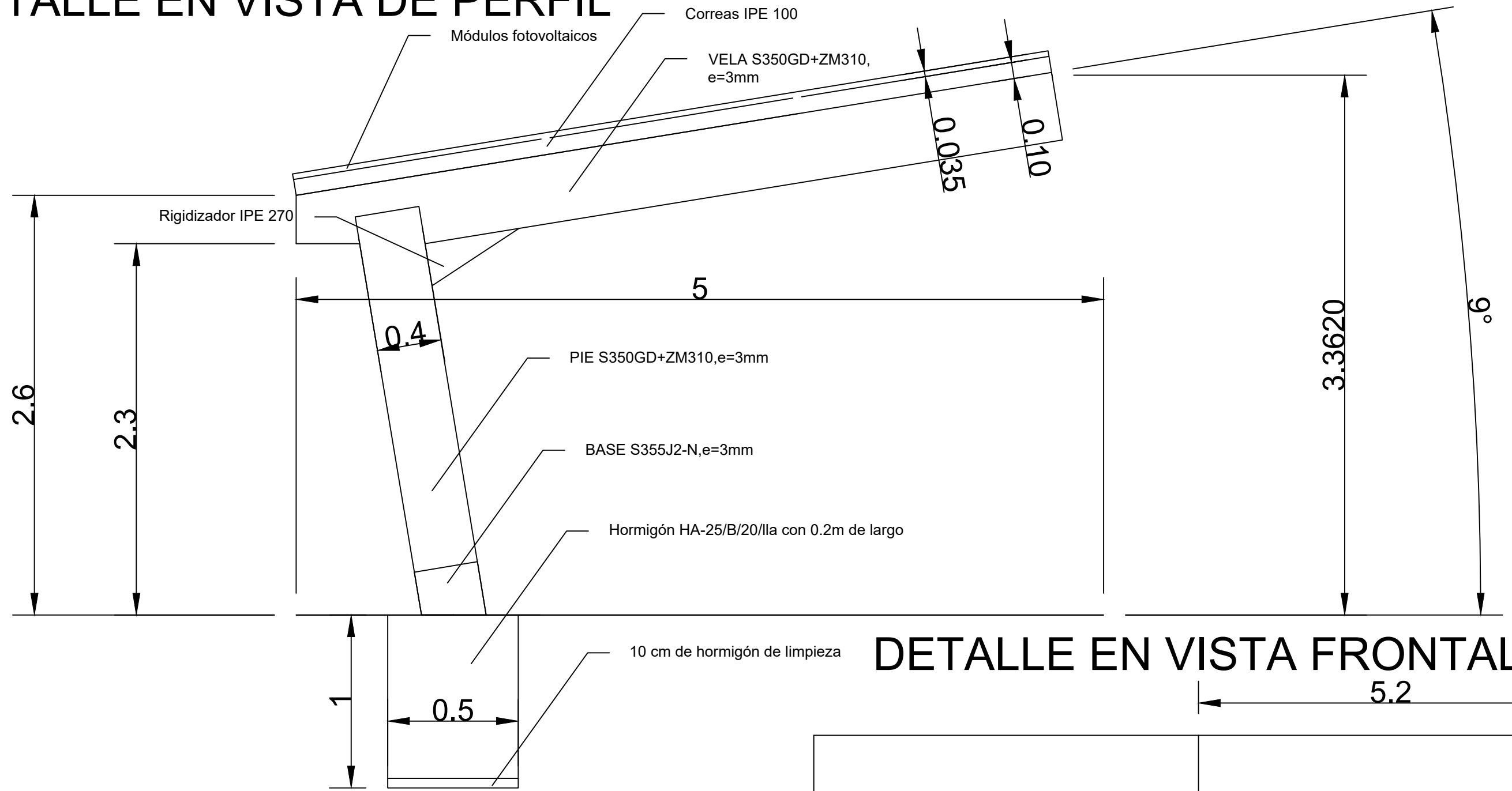
Fecha: Mayo 2024

Escala: 1:30

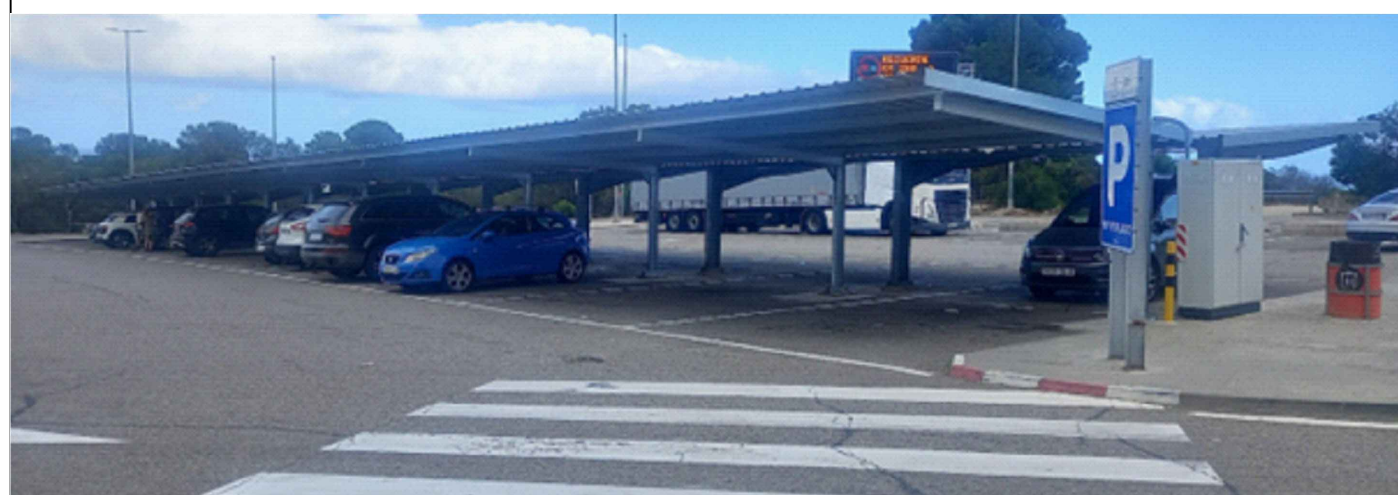
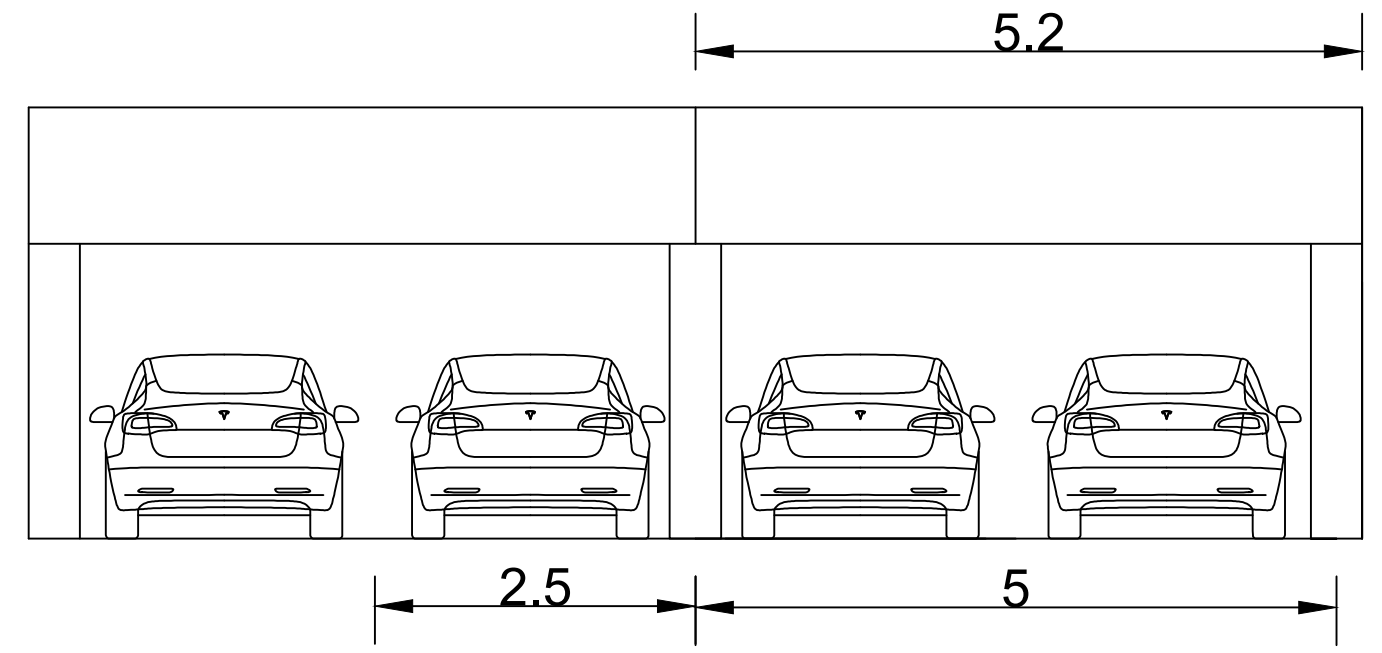
Nº Plano:

1.4.1

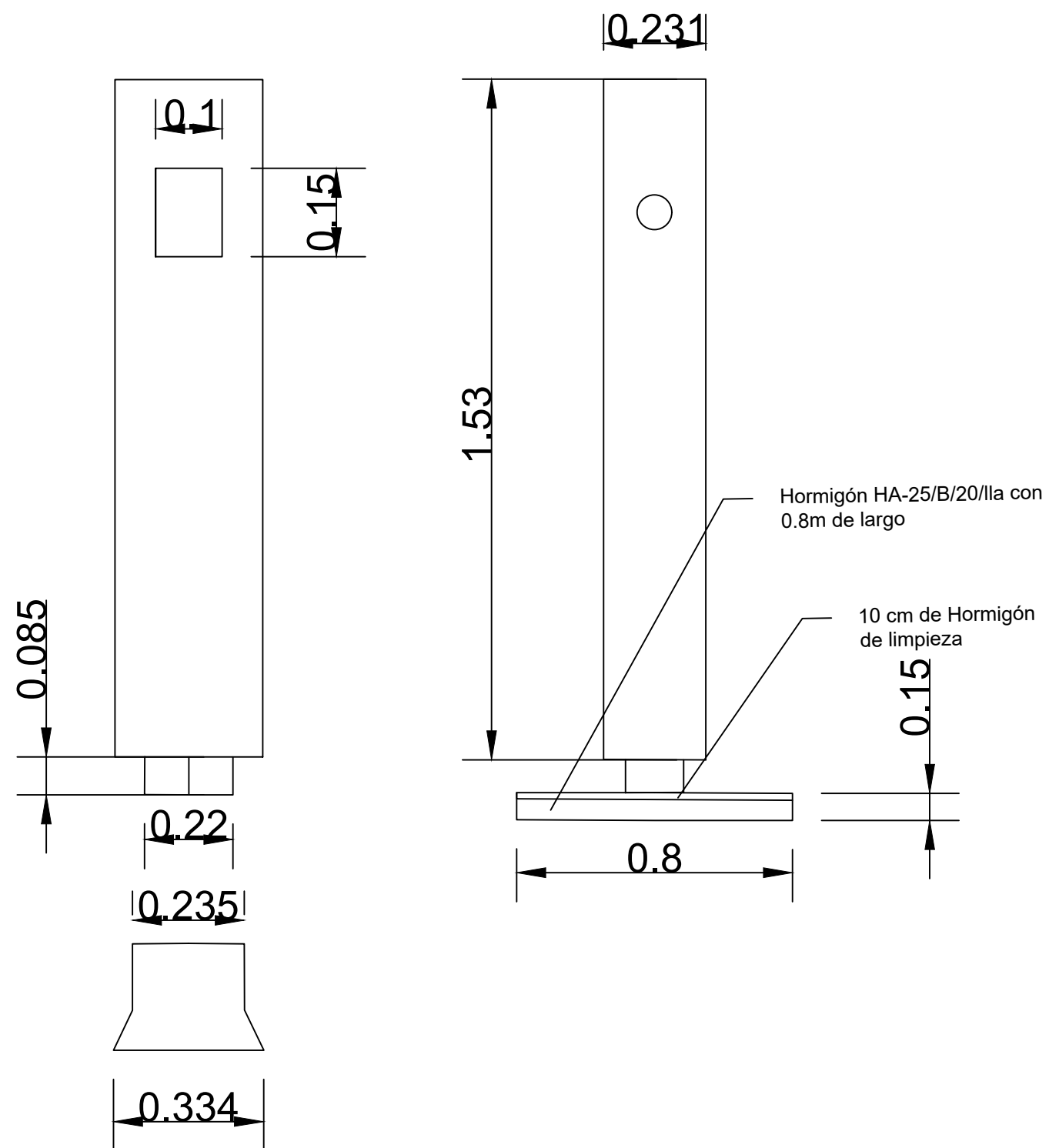
DETALLE EN VISTA DE PERFIL



DETALLE EN VISTA FRONTAL

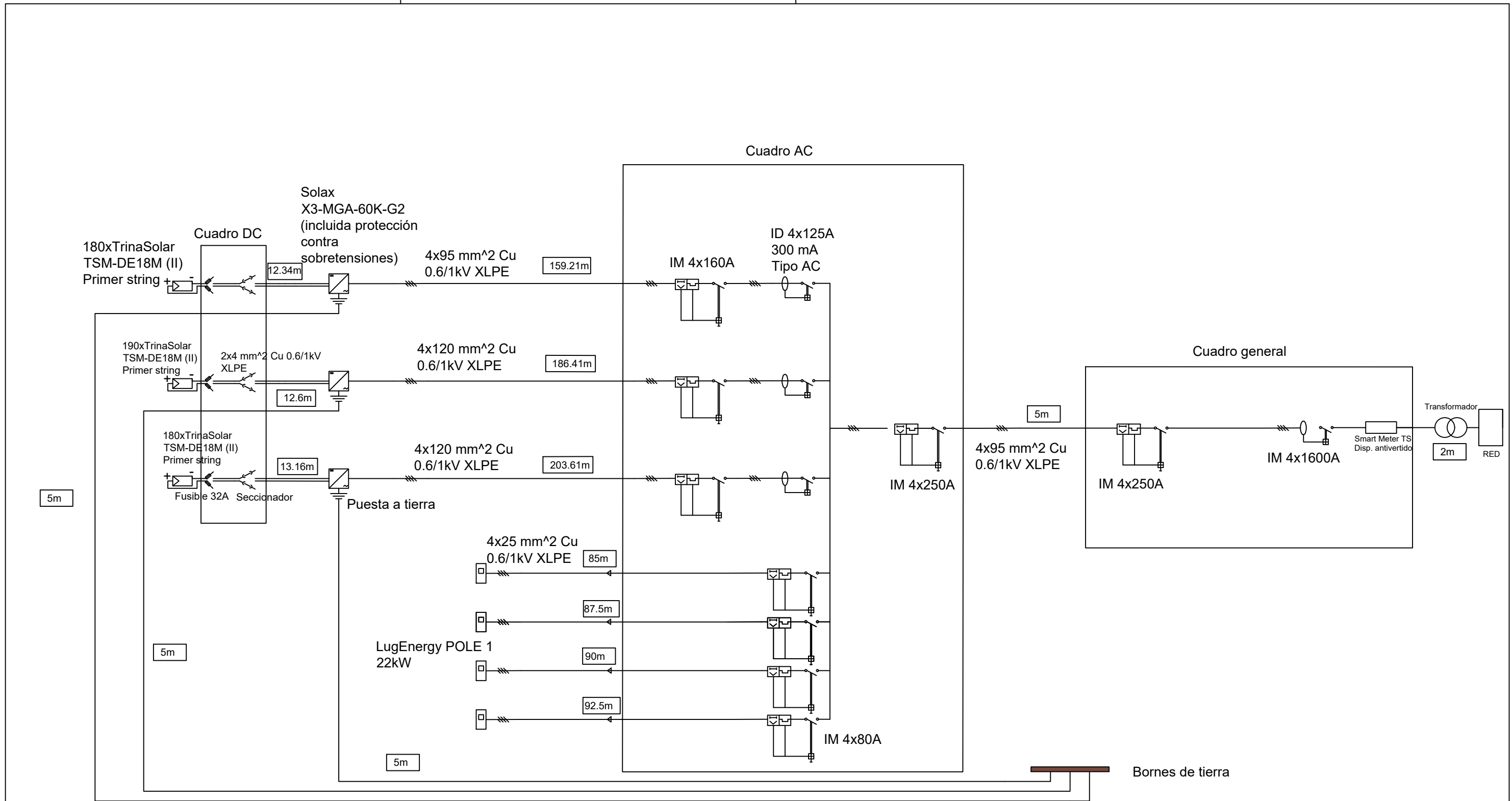


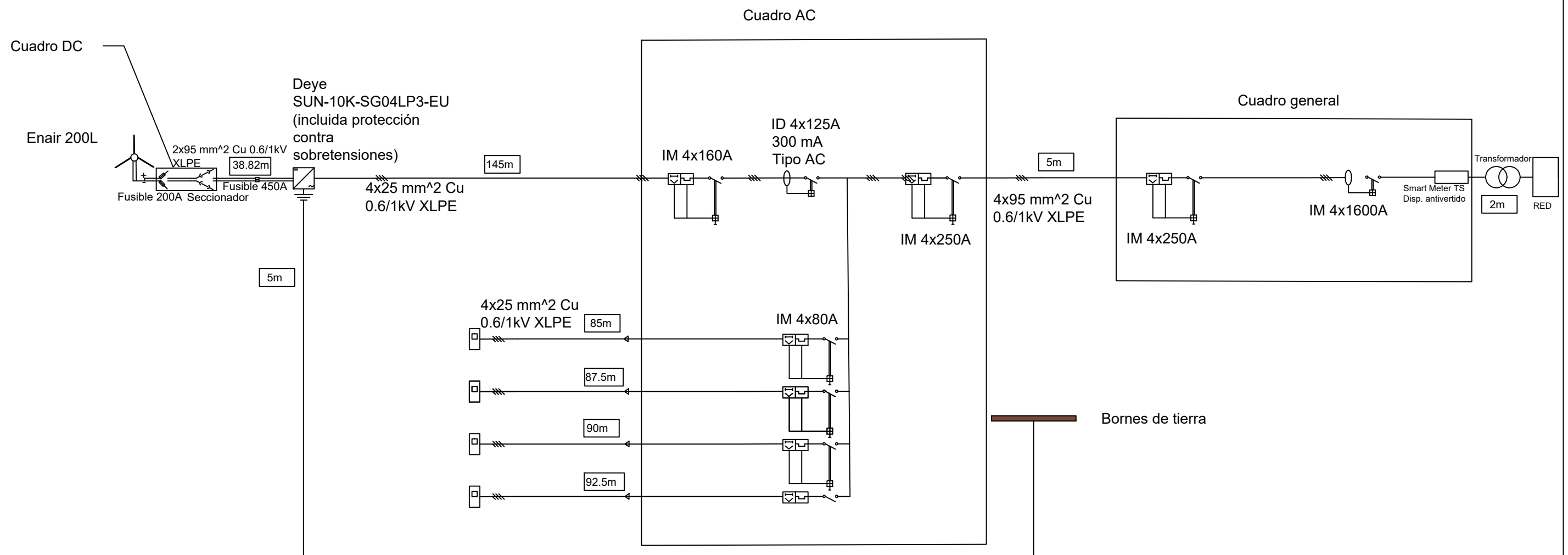
DETALLE DE PUNTO DE RECARGA



EJEMPLO DE PUNTO DE CARGA







PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

DOCUMENTO 4

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento viene a determinar las condiciones en que se habrá de regir el contratista para la ejecución de las obras e instalaciones descritas en el presente proyecto así con tal de determinar la obligación del contratista de cumplir con las instrucciones que dicta el director de obra para resolver las dificultades que se presentan durante la misma.

La elaboración de estos documentos se llevará a cabo con la finalidad de completar los siguientes objetivos:

-Determinar las condiciones técnicas mínimas que han de cumplir las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red.

-Determinar las condiciones técnicas mínimas que han de cumplir las instalaciones eólicas conectadas a la red.

-En algunos casos se pueden adoptar diferentes soluciones para la misma naturaleza de los proyectos o desarrollo tecnológico siempre que la necesidad sea suficientemente justificada y que no implique una reducción de los requisitos mínimos de calidad especificados el mismo.

La instalación se realizará cumpliendo con la normativa vigente en este ámbito en particular y sin limitación de las siguientes:

-Real Decreto 842/2002 del 2 de agosto, por el cual se aprueba el reglamento electrónico para baja tensión de ahora en adelante REBT.

-Real Decreto 1699/2011 del 18 de noviembre, por el cual se regula la conexión a la red de pequeñas instalaciones de suministro eléctrico.

-Real Decreto 413/2014 del 6 de junio, por el cual se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

Algunos elementos se han descrito a partir de marcas determinadas dada la rápida evolución de las actuales tecnologías fotovoltaicas y sobre todo al elevado ritmo de innovación y mejora de prestaciones de los elementos disponibles en el mercado que hace que no sea posible realizar otras descripciones más precisas e inteligibles. Todos los modelos aquí descritos pueden ser sustituidos por otros de similares características. La información que se muestra a continuación está basada en el documento *Instalación de pérgola FV para autoconsumos de 132 kWn y 140.61 kWp con 14 puntos de carga para vehículos eléctricos* (Inti Energia Proyectos S.L., 2022).

1.1 CALIDAD DE LOS OPERARIOS

Para cada trabajo específico se dispondrán de mano de obra especializada y en posesión de la preceptiva autorización o titulación emitida por el organismo competente en el tema habiendo ejecutado la instalación a satisfacción del director de obra.

En cada caso la calidad de la mano de obra estará de acuerdo con la dificultad del trabajo a realizar, y el director de obra si lo estima necesario exigirá la presentación de la cartilla profesional y todas las pruebas que crea necesarias para acreditar el cumplimiento de esta condición.

1.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES

Todos los materiales para utilizar en la instalación reunirán las condiciones exigidas en el Reglamento Electrónico de Baja Tensión (REBT) y otras disposiciones vigentes referidas a materiales o prototipos de construcción. Estos materiales serán de primera calidad.

Todos los trabajos incluidos en el en el presente proyecto se ejecutarán de acuerdo con las buenas prácticas en las instalaciones eléctricas de acuerdo con el reglamento electrónico para baja tensión y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la dirección facultativa no pudiendo por tanto servir de pretexto al contratista la baja en subasta.

Todos los materiales serán nuevos de primera mano no permitiendo materiales que hayan sido utilizados previamente o de segunda mano.

Se proporcionará al usuario un documento de embalaje consistente en el suministro de componentes, materiales y manuales para el uso y mantenimiento de la instalación. Este documento se ha de firmar por duplicado por ambas partes cada uno conservando una copia. Los manuales que se den al usuario estarán en una de las lenguas oficiales españolas para facilitar su correcta interpretación.

El grado de aislamiento eléctrico será de tipo básico clase I en cuanto al equipo (módulos e inversores) y a los materiales (conductores, cajas y armarios de conexión), exceptuando el cableado de continua que será de doble aislamiento de clase II y un grado de protección mínimo de IP65.

La instalación incorporará todos los elementos y características necesarias para garantizar en todo momento la calidad del suministro eléctrico.

El funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas y eólicas no provocará a la red averías, disminuciones de las condiciones de seguridad y alteraciones superiores a las admitidas por la normativa que sea aplicable.

El instalador estará obligado a reparar los fallos que se produzcan si se encuentra que su origen proviene de defectos ocultos en el diseño, la construcción, los materiales o el montaje, comprometiéndose a ponerlas en funcionamiento de forma gratuita. En todo caso, se ha de cumplir con las disposiciones de la legislación vigente en materia de defectos ocultos.

Se incluirán todos los elementos necesarios de seguridad de protecciones propias de las personas y de la instalación fotovoltaica y eólica asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones que resulten de aplicación de la aplicación vigente.

La instalación se dotará de equipos de medida establecidos por las condiciones reglamentarias vigentes. Estos equipos estarán en el interior de armarios o envolventes adecuados. En los casos en que la empresa distribuidora ofrezca la posibilidad, estos equipos podrán instalarse en régimen de alquiler a cargo del centro gestor.

Por otra parte, el funcionamiento de estas instalaciones no puede dar lugar a condiciones de trabajo peligrosas para el personal de mantenimiento y operación de la red de distribución.

Los materiales basados en el clima están protegidos contra los agentes ambientales en particular el efecto de la radiación solar y la humedad.

1.2.1 Características técnicas de los módulos fotovoltaicos

- Tienen que cumplir la norma UNE-EN 61730, armonizada para la Directiva 2006/95/CE, sobre la cualificación de la seguridad de módulos fotovoltaicos y la norma UNE-EN 50.380, sobre informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos. Además, cumplirán la norma UNE-EN 61215: Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para uso de terrestre.
- Los módulos fotovoltaicos tendrán que incorporar el marcaje CE según la directiva 2014/ 35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
- El módulo fotovoltaico llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo y nombre o logotipo del fabricante, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.
- Los módulos deberán de llevar los diodos de derivación para evitar las posibles averías de las células y sus circuitos para sombreados parciales y tendrán un grado de protección IP 65.
- Los marcadores laterales si existiesen serían de aluminio o de acero inoxidable.
- Será rechazado cualquier módulo que presente defectos de fabricación como roturas o manchas en cualquiera de sus elementos, así como falta de alineación en las células o burbujas en el encapsulado.
- La estructura del generador se conectará a tierra.
- Por motivo de seguridad y para facilitar el mantenimiento y reparación del generador se instalarán los elementos necesarios (fusibles, interruptores, conectores, etc.) para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales de cada una de las ramas la red del resto del generador.
- El rendimiento de las placas fotovoltaicas será superior igual al módulo de referencia en el proyecto, en condiciones estándar de medida (irradiancia 1000 W/m², temperatura de la célula 25 °C y distribución espectral: AM 1,5).
- La tolerancia en la variación de la potencia de salida para todos los módulos es + 5% en condiciones estándar.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- Ofrecerán una garantía de producto de al menos 10 años que incluya temas mecánicos. La instalación cumplirá el siguiente requisito respecto a la potencia de salida: la potencia de salida no disminuirá en más del 10% en los primeros 10 años de funcionamiento, ni en más del 15% hasta el año veinte y cinco.
- Con la documentación técnica se entregará el certificado de la prueba “flash report” en la que figurará la potencia del test (irradiancia 1000 W/m², temperatura de célula 25°C) para cada uno de los módulos suministrados, identificado con el número de serie.

1.2.2 Características técnicas de los aerogeneradores

- Tipo (marca y modelo): será definido conforme a la dirección de obra.
- Condiciones climáticas: definida la memoria del proyecto conforme a la evaluación inicial del recurso eólico (previsión de velocidades del viento, dirección, turbulencias, temperaturas y humedad ambiente presión, etc.)
- Tamaño máximo del generador: se establece una altura de buje que no supere 100 metros y un diámetro de rotor no superior a 90 metros. El conjunto de las medidas anteriores proporcionará una altura máxima hasta la punta de la pala del aerogenerador de 145 metros.

1.2.3 Características técnicas de los inversores

-Serán del tipo adecuado para la conexión a la red eléctrica, permitiendo tanto el régimen de autoconsumo como el de conexión a red, con una potencia de entrada variable para que sean capaces de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico y eólico puede proporcionar a lo largo de cada día.

-Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de seguridad eléctrica y de compatibilidad de electromagnética (ambas serán certificadas por el fabricante), incorporando protecciones contra:

- Cortocircuitos en alterna
- Tensión de red fuera de rango
- Frecuencia de red fuera de rango
- Sobretensiones, mediante varistores o similares.

-Perturbaciones presentes a la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos ausencia y retorno de la red, etc.

-Adicionalmente han de cumplir con la directiva 2014/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.

-El inversor continuará liberando energía a la red continuamente bajo condiciones de irradiancia solar un 10% más altas que EMS (condiciones de medida estándar). También resistirá picos de un 30% más alto que EMC por periodos de hasta 10 segundos.

-El rendimiento de la potencia del inversor (cociente entre la potencia de salida activa y la potencia de entrada activa), para una potencia de salida corriente alterna igual al 50% y 100% de la potencia nominal, será como mínimo 92 y 94% respectivamente. El cálculo del rendimiento se realizará de acuerdo a la norma UNE-EN 6168: procedimiento de medida del rendimiento.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- El autoconsumo de los equipos (pérdidas en vacío) en “stand-by” o en modo nocturno han de ser inferior al 2% de la potencia nominal.
- El factor de potencia de la potencia generada será superior a 0.95 entre el 25% y el 100% del poder valorado.
- Los inversores tendrán una clasificación de protección mínima IP 20 para los inversores dentro de edificios y lugares inaccesibles, IP 30 para los edificios anteriores y lugares accesibles e IP 65 para los inversores al aire libre. En todo caso se cumplirá la legislación vigente. En caso de instalación exterior se realizará preferentemente sobre fachadas orientadas a la orientación norte en todo caso se ubicará dentro de armarios debidamente ventilados.
- Aguas abajo de los inversores, al lado de estos, en el interior del armario en caso de instalación a la intemperie, se instalará un subcuadro eléctrico con las protecciones adecuadas, según el REBT. Los interruptores automáticos diferenciales serán de rearmamento automático; curva A. En caso de instalaciones con más de un inversor, el cuadro dispondrá de una protección magnetotérmica para cada inversor y una general.
- El inversor será compatible con el protocolo de comunicaciones MODBUS y si no tiene una conexión directa vía Ethernet se instalará una pasarela MODBUS-ETHERNET.
- Se ejecutará la conexión telemática del inversor al bastidor de comunicaciones del edificio.
- Se garantizará la operación al menos bajo las siguientes condiciones ambientales entre 0 °C y 40 °C y entre un 0% y el 85% de humedad relativa.
- La garantía mínima será de 5 años.
- Tendrá una pantalla gráfica con indicación de los valores diarios.
- Los equipos de convertidores han de cumplir y emitir un certificado de cumplimiento de las siguientes características técnicas:
 - Las funciones máximas y mínimas de protección del voltaje y máxima frecuencia se integran en un equipo convertidor, y las maniobras de desconexión por rendimiento son realizadas por un contactor que realiza la reposición automática del equipo, no antes de 3 minutos después de restaurar las condiciones normales de suministro de la red.
 - También está certificada que en caso de que la redistribución a la cual está conectada la instalación estuviera desconectada por cualquier motivo, el inversor no mantendrá la tensión en la línea de distribución habiendo a este efecto la protección anti-isla correspondiente.
 - La protección anti-insular cumple con la normativa UNE-EN 50438 y IEC 62116.
 - Las protecciones se ajustan con los valores siguientes:
 - Tensión máxima a $1.1 \cdot U_n$ 0.5s, tensión mínima a $0.85 \cdot U_n$, 1.2s.
 - Frecuencia máxima a 51 Hz, 0.2s, frecuencia mínima a 47.5 Hz, 3s.
 - ($U_n \times 400V$ en caso de inversores trifásicos y 230 V en caso de inversores monofásicos)
- No hay posibilidad de modificar los valores de configuración de las protecciones por parte de los usuarios.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

-Los límites de emisión armónica están determinados por la norma:

- EN 61000-3-2. (Equipo monofásico y trifásico con $I_n \leq 16$ A)
- EN 61000-3-12. (Equipo monofásico con $I_n > 16$ A y trifásico con $I_n \leq 75$ A)
- EN 61000-3-4. (Equipos trifásicos con $I_n > 75$ A)

-La inyección de corriente continua del equipo convertidor en la salida de corriente alterna es inferior a 0,5%, medido como se indica por la “nota de interpretación de equivalencia de separación galvánica de la conexión de instalaciones generadores en baja tensión” del Ministerio de Industria, Turismo y comercio.

1.2.4 Estructura soporte

Las estructuras de soporte han de cumplir con los pliegos de esta sección.

-La estructura de soporte de los módulos han de soportar, con los módulos instalados, sobrecargas de viento y nieve. Las estructuras se calculan según el Eurocódigo (eurocódigo 9 para estructuras y eurocódigo 3 para estructuras de acero). Las cargas consideradas para el cálculo son las reflejadas en el código técnico de la edificación en la sección “acciones al edificio” para soportar cargas extremas a causa de factores meteorológicos adversos como el viento y la nieve:

- Sobrecarga de nieve: hasta 1.60 kN/m².
- Sobrecarga de viento: hasta 42 m/s

-Se habrá de aportar el marcaje CE del fabricante de las estructuras.

-El diseño y construcción de la estructura y el sistema de fijación de los módulos, permitirá las expansiones térmicas necesarias, sin transmitir cargas que puedan afectar la integridad de los módulos siguiendo las instrucciones del fabricante.

-Se deberá tener una garantía de al menos 10 años contra la corrosión.

- El fabricante y el instalador garantizarán el sellado del sistema de encuadernaciones a la cubierta.

-En caso de instalación sobre cubiertas planas la superficie del cual presente irregularidades o haya cambios de pendiente en medio de una estructura, se habrá de asegurar que las estructuras de soporte resistan las tensiones de tracción causadas por las irregularidades de la superficie en que descansan, evitando transmitir los esfuerzos de los paneles solares más allá de las necesarias para su reposición. Por este motivo se ha de proporcionar la estructura con perfiles de soporte de paneles, evitando la transmisión de tensiones a los marcos de los módulos.

-Los puntos de sujeción del módulo fotovoltaico serán suficientes en número, teniendo en cuenta el área de soporte y la posición relativa, de manera que no se produzcan flexiones en los módulos más altas que los permitidos por el fabricante y los métodos aprobados por el modelo del módulo.

-El contacto en juntas de diferentes materiales metálicos se evitará mediante juntas galvánicas de separación.

PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO CON GENERACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA-
EÓLICA PARA UN PARQUIN EQUIPADO CON PUNTOS DE RECARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
SITUADO EN LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

- Se debe disponer de una estructura que considere una altura mínima de 50 mm al techo (en caso de instalación coplanar) y 500 mm entre panel solar y suelo.

-La estructura estará fundamentada, cumpliendo con el REBT.

-El diseño de la estructura se realizará por ángulo de orientación e inclinación especificados por el generador fotovoltaico, teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje y la posible necesidad de reemplazamientos de elementos.

-La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de agentes medioambientales. La perforación a la estructura se realizará antes de realizar, si procede, a la galvanización o protección de la estructura.

-Los tornillos se harán de acero inoxidable, cumpliendo con el estándar MV-106. En el caso de la estructura galvanizada, se admiten tornillos galvanizados, excepto para la sujeción de los módulos a la misma, que serán fabricados en acero inoxidable.

-En el caso de las instalaciones de cubierta integrada que actúen como techo, el diseño de la estructura y el sellado entre módulos se alinearán con los requerimientos del código técnico de la edificación y las técnicas habituales en la construcción de cubiertas.

-La estructura de soporte se calculará de acuerdo con el estándar MV-103 para soportar cargas extremas a causa de factores de pronósticos adversos, como viento, nieve, etc.

-Si se construye con perfiles de acero laminado formado en frío, se cumplirá con el MV-102 para garantizar todas sus características de descomposición mecánica y química.

-Si se trata de un galvanizado por inmersión en caliente, se deben cumplir los estándares UNE 37-501 y UNE 37-508, con un grueso mínimo de 80 micras para eliminar las necesidades de mantenimiento y extender su vida útil.

1.2.5 Puntos de carga de vehículos eléctricos

Los puntos de carga cumplirán con los siguientes requisitos técnicos:

-Permitir la carga rápida o semi-rápida. La potencia mínima permitida de cada toma ha de ser de 22 kW (44 kW para puntos de carga doble).

-Los componentes instalados han de permitir regular la potencia máxima inyectable permitiendo una regulación de 7,5 kW por toma.

- Instalarse de acuerdo con la reglamentación vigente especialmente con el Reglamento electrotécnico de baja tensión concretamente el ITC-BT-52.
- Grado de protección IP54 e IK10 adecuado en función de la ubicación según el REBT.
- Disponer de la estación de carga de la declaración CE correspondiente.
- Estar equipado con los dispositivos de protección diferencial de la instalación.
- Tener indicaciones luminosas de estado de carga.
- Facilitar información de que la carga ha comenzado y ha finalizado.
- Tener comunicaciones 4G/GPRS u otras.
- Restringir el acceso a usuarios no autorizados.
- Estar pintados con acabado anti-grafito e incorporar la imagen corporativa de Islas sostenibles por las dos caras.

1.2.6 Instalaciones eléctricas

1.2.6.1 Identificación del equipo

- Cada casilla de la Unión si procede, se identificará de manera única con un número de etiquetas mostrado en el diagrama eléctrico de una línea.
- Cada cable sincrónicamente con el número de cable en los esquemas de cableado. Los cables se han identificar con marcadores para cada cable a cada extremo.

1.2.6.2 Cableado

- Los positivos y negativos de cada grupo de módulos y aerogenerador se llevarán a cabo por separado y protegidos de acuerdo con la normativa vigente.
- Los conductores están hechos de cobre o aluminio y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calefacción. Concretamente para cualquier condición de trabajo, los conductores en la parte CC, han de tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior a 1,5% y las de la parte AC, para que la caída de tensión sea inferior al 2%, teniendo en ambos casos voltajes correspondientes a cajas de Unión.
- Se incluirá toda la longitud del cable de CC y AC. Ha de ser la longitud necesaria para no generar esfuerzos en los diferentes elementos o la posibilidad de ser enganchados por el tráfico normal de personas.

-Todos los cableados continúa serán de tipo solar, con protección UV doble aislamiento y aptos para uso exterior, aéreo o enterrado, de acuerdo con la norma UNE 21123.

-En función del tipo de tubería, se cumplen los siguientes requisitos:

-Secciones aéreas en canal metálico o plástico: el conductor se monta según la norma UNE 21027 o UNE 21150.

-Secciones aéreas bajo doble tubo de PVC ondulado: Se montará con bridas de plástico resistentes a la intemperie y establecimiento UV en cantidades suficientes. Las conexiones se harán en cajas con IP65 con glándulas de cable.

1.2.6.3 Conexión a red

-Todas las instalaciones cumplirán con lo que se dispone en la normativa de aplicación referenciada y especialmente el Documento del director general de Energía y cambio climático del 7 de junio de 2019, por el cual se esclarecen las particularidades para la conexión a la red interior de las instalaciones de autoconsumo de energía eléctrica de pequeña potencia ($P < 100$ kW) situadas en las Islas Baleares y la ITC-BT-40 sobre la conexión de empresas generadoras a la red eléctrica.

1.2.6.4 Protecciones

-Todas estas acciones cumplirán con lo que se dispone en el Real decreto 1699/2011 sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión y con el esquema unifilar que aparece en la ITC-BT-40 sobre la conexión de plantas generadoras en la red eléctrica.

-En conexiones a la red trifásicas, las protecciones para interconexión de máxima y mínima frecuencia (51 y 47,5 Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 Um i 0,85 Um respectivamente) serán por cada fase.

1.2.6.5 Puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas y eólicas

-Todas las masas de la instalación fotovoltaica y eólica, tanto de la sección continua como de la alterna estarán conectadas a una única tierra. Esta tierra será independiente dentro de la del neutro de la empresa distribuidora, de acuerdo con el Reglamento de baja tensión.

-Mediante la instalación de puesta a tierra, se habrá de conseguir que en el conjunto de instalaciones próximas al terreno no aparezcan diferencias de potencial que pueden ser peligrosas y que, al mismo tiempo se permita el paso a tierra de las corrientes parásitas o las de descarga de origen atmosférico.

-Se establecerá una red de tierras utilizando un conductor de cobre 35 mm², el cual se unirá a tantas piquetas de presa de tierra necesarias con el fin de conseguir el valor de tierra deseado, de acuerdo con el interruptor diferencial escogido.

-Las piquetas de toma de tierra serán de 2 m de longitud y de 20 mm² de diámetro de hierro galvanizado, las cuales se introducirán a tierra de manera que puedan ser registrables.

1.2.6.6 Obra civil

1.2.6.6.1 Zanjas y canalizaciones

-Se analizará canalizaciones para conectar eléctricamente las instalaciones proyectadas:

-Desde la marquesina hasta el inversor.

-Desde los puntos de carga hasta su punto de conexión.

-Se realizarán calas de terreno y se prestará atención a las posibles interferencias con el resto de las instalaciones existentes.

1.2.6.6.2 Obras de albañil

-Se realizarán las arquetas necesarias para la conducción de los cableados eléctricos. Todos los tubos quedarán sellados y protegidos con espuma o similar.

-Se realizarán las bases de cimentación y soporte de las pérgolas fotovoltaicas y del aerogenerador según especificaciones del fabricante.

-Se fijarán los elementos de protección de las pérgolas fotovoltaicas, los puntos de carga y las torres eólicas contra los impactos de vehículos.